



Vaasan yliopisto
UNIVERSITY OF VAASA

Simo Välimäki

Raskaan kaluston kestävyys ja huollontarve biokaasukäytössä

Tekniikan ja innovaatiojohtamisen yksikkö
Diplomi-insinöörin tutkinto
Energiatekniikka

Vaasa 2021

Esipuhe

Tässä diplomityössä käsitellyt materiaalit on kerätty pääasiassa osana Vaasan yliopiston tutkimushanketta Biokaasun hyödyntämismahdollisuudet Pohjanmaalla, ja diplomityössä suoritettua tarkastelua on tähän tutkimushankkeeseen nähden laajennettu.

Haluankin esittää kiitokseni työn kannalta keskeistä materiaalia tarjonneiden eri yritysten yhteyshenkilöille – Remeon myyntijohtaja Ville Pitkäselle, Vaasan kaupungin liikennesuunnittelupäällikkö Pertti Hällilälle sekä Niemi Palveluiden liiketoimintapäällikkö Ville Häyryselle.

Erityiskiitokset haluan esittää ohjaajalleni Kirsi Spoof-Tuomelle, joka tarjosi minulle mahdollisuuden diplomityön tekemiseen osana johtamaansa tutkimushanketta sekä tarjosi työn eri vaiheissa merkittävää apua ja neuvontaa. Haluan esittää kiitokset myös professori Seppo Niemelle, jonka ote opetukseen on ollut opintojeni mielekkyyden sekä etenemisen kannalta ensiarvoisen tärkeää.

Tampereella 31.3.2021

Simo Välimäki

VAASAN YLIOPISTO
Tekniikan ja innovaatiojohtamisen yksikkö

Tekijä:	Simo Välimäki		
Tutkielman nimi:	Raskaan kaluston kestävyys ja huollontarve biokaasukäytössä		
Tutkinto:	Diplomi-insinööri		
Oppiaine:	Energiatekniikka		
Työn valvoja:	Seppo Niemi		
Työn ohjaaja:	Kirsi Spoof-Tuomi		
Valmistumisvuosi:	2021	Sivumäärä:	77

TIIVISTELMÄ:

Liikennesektori on yksi haastavimmista ilmastonmuutosta kiihdyttävien kasvihuonekaasupäästöjen tekijöistä, sillä lähes koko Suomen tieliikenne on riippuvainen fossiilisista polttoaineista. Suomen tieliikenteen kasvihuonekaasupäästöistä noin 40 prosenttia on peräisin raskaasta liikenteestä, joka on suurista kuormamassoista johtuen myös vaikeimmin sähköistettävissä. Haitallisten ilmastovaikutusten minimoimiseksi erityisesti raskaan liikenteen tulisiikin nojautua ennistä enemmän uusiutuviin ja vähäpäästöisiin polttoaineisiin, kuten biokaasuun.

Tämän selvitystyön tarkoituksena oli selvittää raskaan kaluston kestävyttä sekä huollon tarvetta biokaasukäytössä. Tutkimuksen tavoitteena oli lisätä raskaan kaluston liikennöitsijöiden tietoutta biometaanin mahdollisuuksista ja pienentää raskaan liikenteen toimijoiden hankintakynnystä biokaasukäyttöiseen kalustoon.

Työssä nostetaan kirjallisuuskatsauksen avulla esiin biokaasun polttoaineominaisuuksia, käyttötekniikkaa ja turvallisuusseikkoja sekä tehdään katsaus alan tulevaisuuden näkymiin Suomessa. Työn varsinaisessa tutkimusosiossa hyödynnettiin biokaasukäyttöisellä kalustolla operoivien yritysten ja toimijoiden tarjoamia huoltotietoja sekä kerättiin biokaasukalustoa käyttävien ammattikujettajien käyttäjäkokemuksia. Biokaasuajoneuvojen huoltohistorioiden avulla analysoitiin ajoneuvojen huoltoihin kuuluvia toimenpiteitä, huoltovälejä sekä kohdattuja komponenttirikoja. Näiden painopisteiden pohjalta arvioitiin kaluston huollon tarvetta sekä kestävyttä, joiden lisäksi biokaasukäyttöisen kaluston käytettävyyttä kuvataan käyttäjäkokemuksista saaduilla vastauksilla.

Työssä saavutetuista tuloksista havaitaan, että biokaasu on polttoaineena täysin turvallinen ja jo nykyisin valmis raskaan liikenteen sovelluksiin. Biokaasukäyttöiset raskaat ajoneuvot havaittiin kestävyydeltään sekä huollon tarpeeltaan perinteisiä ajoneuvoja vastaaviksi, ja kerätyt käyttäjäkokemukset osoittivat kaluston olevan myös käytettävyyden suhteen suurelta osin dieselkäyttöisten ajoneuvojen tasolla.

Raskaiden ajoneuvojen biokaasukäytön yleistymistä tukevat jo olemassa oleva käyttötekniikka, kotimainen biokaasutuotannon potentiaali, polttoaineen tuomat päästövähennykset sekä ajoneuvojen vastaavuus perinteisten polttoaineiden ajoneuvoihin. Nykyiseen hallitusohjelmaan sisältyy myös erillinen biokaasuohjelma, jonka tavoitteena on saattaa biokaasun kotimainen potentiaali käyttöön. Ohjelman mukaisia lainsäädännöllisiä muutoksia on jo nopealla aikataululla saatettu voimaan, eli alan tulevaisuuteen on kiinnitetty kansallista huomiota. Työssä saadut tulokset puoltavatkin laajalta rintamalta biokaasukäyttöisen raskaan liikenteen käyttöönottoa tulevaisuudessa merkittävänä osana Suomen liikennesektoria.

AVAINSANAT: Ilmastonmuutos, kasvihuonekaasut, uusiutuvat energianlähteet, biokaasu, raskas liikenne, huolto, kestävyys

UNIVERSITY OF VAASA**School of Technology and Innovations****Author:** Simo Välimäki**Title of the Thesis:** Durability and maintenance needs of biogas-powered heavy-duty vehicles**Degree:** Master of Science in Technology**Programme:** Energy Technology**Supervisors:** Kirsi Spoof-Tuomi, Seppo Niemi**Year:** 2021 **Number of pages:** 77

ABSTRACT:

The transport sector is one of the most challenging drivers of greenhouse gas emissions contributing to global warming. This is because Finland's road traffic is almost completely dependent on fossil fuels, and almost 40 % of Finnish road traffic's greenhouse gas emissions originate from heavy transport. Heavy-duty vehicles are also the most difficult ones to electrify due to large carried burdens. To minimize the harmful climate impacts, especially heavy transports should lean more towards renewable and low-emission fuels such as biogas.

The purpose of this research was to examine the durability and maintenance needs of biogas-powered heavy-duty vehicles. This research aimed to increase the knowledge about the possibilities of biomethane as a fuel for heavy vehicles and lower the threshold to purchase biogas-powered vehicles for heavy transport operators who still are relying on diesel fuel.

This paper describes biogas' fuel properties, operating techniques and safety aspects found in the literature. Additionally, future scenarios of the biogas industry in Finland are reviewed. The actual research part of the work utilized the maintenance data provided by companies and operators operating heavy-duty biogas-powered vehicles. Operational experiences from these kinds of vehicles were also collected from drivers who use biogas-powered vehicles professionally. The maintenance histories of these vehicles were used to analyse the maintenance procedures, service intervals, and component failures encountered. The results of these aspects were used to determine the maintenance needs and the durability of biogas-powered vehicles. The user experiences were used to demonstrate the usability of biogas-powered vehicles at the grass-root level.

The detected results showed that biogas is perfectly safe and ready-to-use fuel for heavy-duty transport applications. Biogas-powered vehicles were found to equate to conventional vehicles in terms of durability and maintenance needs. The user experiences gained also showed that the usability of biogas-powered vehicles is mainly at the same level as with diesel-powered vehicles.

Existing technologies, the potential of domestic biogas production, emission benefits and equivalent vehicles compared to traditional vehicles support the broader deployment of biogas-powered heavy-duty vehicles. In addition, a new government biogas programme has been implemented to promote measures to achieve the full potential of domestic biogas production in Finland. The programme has already made rapid legislative changes, which means that the future of the biogas industry in Finland has received national attention. The results found in this thesis support widely the introduction of biogas as a significant part of the Finnish transport sector in the future.

KEYWORDS: Climate change, greenhouse gases, renewable energy sources, biogas, heavy transport, maintenance

Sisällys

Esipuhe	2
1 Johdanto	8
2 Biokaasu polttoaineena	11
2.1 Biometaanin ominaisuudet	12
2.2 Biometaani polttomoottorissa	14
2.3 Biometaanin päästöt	15
2.4 Biokaasun turvallisuus	17
3 Biokaasun ajoneuvokäyttö	19
3.1 Polttoainekaasun tankkaaminen	19
3.2 Kaasukäyttöisen ajoneuvon tekniikka	21
4 Biokaasukäyttöisen raskaan kaluston huolto- ja korjaustoimet	24
4.1 Selvitystyössä tutkittava kalusto	24
4.2 Kaasukäyttöisten ajoneuvojen huoltaminen	28
4.3 Kaasukaluston yleisimmät huoltotoimenpiteet	29
4.4 Kaluston huoltovälit	32
4.4.1 Kaasukäyttöiset jätekeräysautot	32
4.4.2 Kaasukäyttöisten kaupunkibussit	35
4.5 Kaasukäyttöisen kaluston vika- ja rikkoutumistapaukset	36
4.5.1 Kaasukäyttöiset kaupunkilinja-autot	37
4.5.2 Kaasukäyttöiset jätekeräysautot	43
4.6 Huolto- sekä korjaustoimien arviointi	47
5 Raskaan biokaasukaluston käyttäjien kokemukset	49
5.1 Biokaasukaluston tankkaus sekä toimintamatka	50
5.2 Biokaasukaluston käyttötuntuma	51
5.3 Biokaasukaluston kehitystarpeet	52
6 Biokaasukäyttöisen raskaan liikenteen tulevaisuuden näkymät	53
6.1 Biokaasun liikennekäytön potentiaali Suomessa	54
6.2 Biokaasualan haasteet ja kehittämistoimet	55

6.2.1	Jakeluvelvoite	56
6.2.2	Biokaasulaitosten investointituet	58
6.2.3	Biokaasukaluston hankintatuet	59
6.3	Tulevaisuuden näkymien arviointi	60
7	Pohdinta	64
8	Johtopäätökset	66
9	Yhteenveto	68
	Lähteet	70
	Liitteet	74
	Liite 1. Vaasan kaupungin biokaasukäyttöisten kaupunkibussien huolto- ja vikamerkinnot vuoden 2018 aikana.	74
	Liite 2. Vaasan kaupungin biokaasukäyttöisten kaupunkibussien huolto- ja vikamerkinnot vuoden 2019 aikana.	74
	Liite 3. Käyttäjäkokemusten kysymykset sekä saadut vastaukset	75

Taulukot

Taulukko 1.	Metaanin ominaisuuksia eri olosuhteissa	12
Taulukko 2.	Metaanin sekä fossiilisten polttoaineiden palamiseen liittyviä ominaisuuksia	13
Taulukko 3.	Metaanin sekä bensiinin vaarallisuusluokitusten vertailua asetuksen STMA 509/2005 mukaisesti	17
Taulukko 4.	Työssä käsiteltävien biokaasukäyttöisten ajoneuvojen käyttämien moottorien ominaisuuksia	26
Taulukko 5.	Biokaasukäyttöisten bussien (a) sekä keräysautojen (b) käyttöönotto- ja matkamittaritiedot	27
Taulukko 6.	Biokaasukaluston yleisesti suoritettuja huoltotoimenpiteitä lukumäärittäin	29
Taulukko 7.	Biokaasukaluston tavallisesta poikkeavia huoltotoimenpiteitä sekä tapahtumia vastaava ajoneuvon matkamittarilukema	31
Taulukko 8.	Jätelogistiikkayhtiö Remeon viiden biokaasukäyttöisen keräysauton huoltojen yhteenveto	32
Taulukko 9.	Biokaasukäyttöisten keräysautojen moottoriöljyn (a) ja sytytystulppien (b) keskimääräiset vaihtovälit	33
Taulukko 10.	Biokaasubussien vuosien 2018 ja 2019 yhteisajomäärät, kokonaisajomatkat vuoden 2019 päätyttyä, huoltotapahtumien lukumäärät sekä keskimääräiset huoltovälit	35
Taulukko 11.	Biokaasubussien liikennöinnin estäneiden huolto-, polttoaine- sekä vikatapausten yhteenveto vuosilta 2018 (a) sekä 2019 (b)	38
Taulukko 12.	Biokaasukäyttöisen jätekeräyskaluston huoltotapahtumien ulkopuolisia huolto- ja korjausmerkintöjä	44

1 Johdanto

Tarve vastata energiantuotannosta sekä -kulutuksesta aiheutuvaan ympäristön ja ilmaston saastumiseen on ympäri maailman akuutti, ja näihin ongelmiin on nopeasti löydetävä tehokkaita ratkaisuja. Yksi kriittisimmistä ilmastomuutosta kiihdyttävistä energian hyödyntämisen osa-alueista on liikennesektori, joka on lähes täydellisen riippuvainen fossiilista polttoaineista. Erityisesti riippuvuus kohdistuu öljyyn, josta lähes kaikki maailmassa käytettävät liikennepolttoaineet jalostetaan. Liikennesektorin on mahdollisimman nopealla aikataululla tultava entistä energiatehokkaammaksi ja sen on perustuttava merkittävästi enemmän uusiutuviin polttoaineisiin jo lähitulevaisuudessa (Baxter ja muut, 2013, s. 428).

Työ- ja elinkeinoministeriön vuonna 2017 julkaiseman energia- ja ilmastostrategian mukaan nopein keino liikennesektorin kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi on korvata nykyisin käytettäviä fossiilisia polttoaineita uusiutuvilla tai nykyistä vähäpäästöisemmillä polttoaineilla. Suomen valtioneuvoston tavoitteena on tehdä pitkällä aikavälillä Suomen koko liikennejärjestelmästä erittäin vähäpäästöinen, sillä nykyisin liikennesektori tuottaa noin viidenneksen koko Suomen kasvihuonepäästöistä. Näistä päästöistä noin 90 % syntyy varsinaisesta tieliikenteestä, joten tieliikenteen päästövähennyspotentiaali on myös suurin. Valtioneuvoston tavoitteena onkin vähentää liikenteen kasvihuonekaasupäästöjä 50 % verrattuna vuoden 2005 tilanteeseen ja nostaa liikenteen biopolttoaineiden osuus 30 prosenttiin vuoteen 2030 mennessä. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2017, s. 54–58).

Merkittävän potentiaalin omaava biopolttoaine on kotimainen biokaasu, joka on monipuolinen ja uusiutuva energiamuoto ja jota voidaan tuottaa orgaanisesta jätteestä kiertotalouden periaatteita noudattaen. Biokaasun käytöllä voidaan vähentää liikenteen kasvihuonekaasupäästöjä merkittävästi, koko elinkaaren ajalta tarkasteltuna jopa 90 % fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna (Gasum, 2020). Biokaasua käytettäessä ajoneuvon pakoputken päästä tuleva hiilidioksidi on peräisin normaalista luonnon kiertokulusta eikä hiilidioksidin määrä ilmakehässä lisäännä. Biokaasun ilmastomuutosvaikutukset voivat

parhaimmillaan olla jopa negatiiviset sellaisissa tapauksissa, joissa biokaasuksi muutetut raaka-aineet olisivat ilman hyödyntämistä vapauttaneet hajotessaan ilmakehään metaania, moninkertaisesti hiilidioksidia haitallisempaa kasvihuonekaasua. Lisäksi biokaasukäytössä muodostuvat terveydelle haitalliset pienhiukkaspäästöt ovat erittäin vähäiset.

Suomen liikennesektorin kasvihuonekaasupäästöistä noin kolmannes on peräisin raskaasta liikenteestä. Raskas liikenne onkin yksi merkittävimmistä biokaasun hyödyntämisen kohteista, sillä erityisesti kaikkein raskaimmat ajoneuvoyhdistelmät tuottavat suurimman osan kuorma-autojen päästöistä. Nämä ovat myös valtavista kuljetettavista massoista johtuen kaikista vaikeimmin sähköistettävissä olevia ajoneuvoja, eikä sähköistämisen ole nykytiedon valossa mahdollista vielä lähitulevaisuudessa. Biokaasu sen sijaan tarjoaa vaihtoehtoisen uusiutuvan polttoaineen myös kaikista raskaimpiin maantiekuljetuksiin. (Andersson ja muut, 2020, s. 15, 44, 45.)

Kotimaisella biometaanilla on hyvät lähtökohdat ja ominaisuudet raskaan liikenteen polttoaineeksi. Verrattuna muihin toisen sukupolven biopolttoaineisiin biometaani on vähemmän riippuvainen erityisistä teknisistä kehitysaskelista ja tuotannon mittakaavasta, ja sen raaka-ainepohja on laajempi ja joustavampi. Myös biometaanin elinkaaripäästöt ja hiilijalanjälki ovat pienemmät kuin minkään muun biopolttoaineen. (Baxter ja muut, 2013, s. 429.) Jo olemassa oleva tekniikka sekä Suomen biokaasutuotannon potentiaali mahdollistavat nopeankin siirtymisen kohti biokaasukäyttöistä raskaasta liikennettä. Tämä kuitenkin vaatii muun muassa biokaasuliiketoiminnan kehittämistä, biometaanin tankkausverkoston laajentamista, poliittista edistämistä sekä alan tutkimus- ja kehitystyötä. (Aro ja muut, 2018, s. 9.)

Biokaasun mahdollisuudet raskaan liikenteen polttoaineena ovatkin yhä heikosti tunnettuja. Biokaasun käyttö voi herättää kysymyksiä muun muassa tekniikan kestävyiden, käytettävyyden ja turvallisuuden osalta, eikä välttämättä osa mahdollisista toimijoista edes tiedä biokaasun mahdollisuudesta raskaan kaluston voimanlähteenä. Lisäksi alan kehitys on ollut kasvaneeseen kiinnostukseen nähden hidasta, ja muun muassa biokaasun tuotantolaitosten investointeihin liittyviä seikkoja sekä jakeluinfrastruktuurin kehityskulkua on pidetty epävarmana.

Tämän selvitystyön tavoitteena oli lisätä raskaan kaluston liikennöitsijöiden tietoutta biokaasun käytöstä polttoaineena ja madaltaa yhä dieselkalustolla operoivien toimijoiden kynnystä biokaasukäyttöisen kaluston hankintaan. Tämä pyrittiin saavuttamaan tuomalla esiin biokaasun polttoaineominaisuuksia, turvallisuusnäkökulmia sekä käytettävyyttä raskaan kaluston sovelluksissa kirjallisuuden sekä biokaasukäyttöisellä raskaalla kalustolla toimivilta ammattikuljettajilta kerättyjen käyttäjäkokemusten avulla.

Työn varsinaisena tutkimuskysymyksenä oli raskaan kaluston huollon tarpeen ja kestävyiden arviointi biokaasukäytössä, ja näihin näkökulmiin paneuduttiin käsittelemällä eri liikennöitsijöiden työhön tarjoamia raskaan biokaasukaluston huoltotietoja. Käsitellyt huoltotiedot sisälsivät biokaasukäyttöisten raskaiden ajoneuvojen huolto- sekä vikahistorioita, ja näitä arvioimalla työssä kyettiin arviomaan huollon tarpeeseen sekä kestävyteen vaikuttavia näkökulmia.

Lisäksi työssä tehtiin katsaus alan tulevaisuuden näkymiin raskaan liikenteen näkökulmasta selventämään murroksessa olevan biokaasualan kehitysnäkymiä ja -odotuksia. Alan tulevaisuuden näkymiä arvioitiin tuomalla esiin kotimaisen biokaasun hyödyntämispotentiaalin mahdollisuuksia sekä esittelemällä viimeaikaisia hallituksen tasolla tehtyjä biokaasualan kehitystoimia.

2 Biokaasu polttoaineena

Jalostettu biokaasu eli biometaani on jo valmis polttoaine kattamaan merkittävänkin osuuden Suomen liikennesektorilta niin ominaisuuksien kuin hyödyntämisteknologioidensakin puolesta. Biometaani vastaa ominaisuuksiltaan hyvin pitkälti liikennemaakaasua, jonka infrastruktuuriin, hyödyntämiseen sekä varastointiin liittyviä teknologioita on käytetty jo pitkään eri puolilla maailmaa. Tämän hetken hidasteena Suomen liikennebiokaasun markkinaosuuden kasvamisessa on kuitenkin erityisesti potentiaaliin nähden maltillinen raaka-aineiden hyödyntäminen sekä tuotannon ja tarjonnan infrastruktuurin rajallisuus.

Toisin kuin muut biopolttoaineet keskenään, biometaani on täysin sekoittuva ja järjestelmistä riippumatta myös täysin vaihtelukelpoinen muiden kaasulajien kanssa. Ollessaan tarpeeksi puhdasta, biometaanilla ei ole lainkaan sekoitusrajoitteita muiden kaasujen kanssa. (Baxter ja muut, 2013, s. 428.) Biometaanin etuna on sen kokoonpuristuvuus ja mahdollisuus paineistaa kaasu pienempiin tilavuuksiin. Tämä itsessään mahdollistaa biokaasun liikennekäytön, sillä kulkuneuvojen rajallinen polttoaineen varastointitila ei riitä normaalipaineisen kaasun säilytykseen vaan useimmiten kaasu puristetaan noin 200–250 barin paineeseen. Biometaani voidaan myös nesteyttää jäähdyttämällä höyrystyslämpötilansa $-161,5\text{ °C}$ alapuolelle. Nesteytetyn biometaanin tilantarve on noin 1/600 normaalipaineessa olevan kaasun tilavuudesta, ja paineistettuunkin nähden tämän energiasisältö voi paineesta riippuen olla jopa noin kolminkertainen. (Alakangas ja muut, 2016, s. 187; Andersson ja muut, 2020, s. 26.)

Taulukossa 1 on esitetty metaanin eri säilytysolosuhteiden ominaisuuksia. Biometaanissa esiintyy metaanin lisäksi myös muutamia tilavuusprosentteja muita aineita, joten tämän lämpöarvo on hieman taulukossa ilmoitettuja puhtaan metaanin arvoja alempi, usein noin $34\text{--}36\text{ MJ/m}^3$ (Lampinen & Rautio, 2015, s. 128).

Taulukko 1. Metaanin ominaisuuksia eri olosuhteissa. Muokattu alkuperäisestä lähteestä (Söderena ja muut, 2019, s. 19).

Ominaisuus	Yksikkö	Normaalitila	Paineistettu metaani	Nesteytetty metaani
Paine	bar	1	250	1
Lämpötila	°C	0	15	-161,5
Tiheys	kg/m ³	0,72	180	423
Tehollinen lämpöarvo	MJ/kg	50	50	50
	MJ/m ³	36	9000	21150

Taulukosta havaitaan puhtaan metaanin ja täten myös biometaanin tilantarve eri olosuhteissa. Erityisesti alimmalla rivillä esitetty polttoaineen energiatiheys kasvaa huomattavasti paineen noustessa tai säilöntälämpötilan pienentyessä. Taulukon olosuhteissa normaalitilaan verrattuna paineistettuun biometaaniin sisältyy tilavuusyksikköä kohden 250-kertainen energiamäärä, ja paineistettuun nähden nesteyttämällä samaan tilavuuteen saadaan mahdutettua yli kaksinkertainen määrä energiaa. Käytännön sovellutuksissa nämä vastaavat raskaan liikenteen kalustossa säilöntämenetelmästä riippuvaa toimintaetäisyyttä. Useimmiten paineistetulla kaasulla toimivien ajoneuvojen toimintaetäisyys on noin 400–600 kilometriä, kun nesteytetyn kaasun raskaat yhdistelmäajoneuvot kykenevät tankillisella dieselajoneuvoja vastaaviin yli tuhannen ajokilometrin toimintamatkoihin.

2.1 Biometaanin ominaisuudet

Kaikille kaasumaisille polttoaineille on yhteistä korkea syttymislämpötila, suuri palamisnopeus sekä kapea syttymisalue (Alakangas ja muut 2016, s. 182). Biometaanin oktaaniluku on korkeampi kuin millään muulla polttoaineella, jolloin kipinäsytytteisen polttomoottorin tehoa sekä hyötysuhdetta voidaan perinteisiin polttoaineisiin nähden nostaa. Biometaanin soveltuu sellaisenaan kaasukäyttöisten ajoneuvojen polttoaineeksi, ja kaasumaisuudestaan johtuen aineen sekoittuminen ilman kanssa on nestemäisiä polttoaineita parempaa. Tällöin ajoneuvopolttomoottorin hyötysuhteella lähes koko metaanin

energiasisältö saadaan hyödynnettyä, ja samalla epätäydellisestä palamisesta syntyvät päästöt ovat matalammat ja hyötysuhde sekä teho suuremmat. Biometaanilla on myös korkeampi energiatiheys massayksikköä kohti kuin nestemäisillä polttoaineilla. (Lampinen & Rautio, 2015, s. 129; Kinnunen & Rintala, 2015, s. 17).

Taulukossa 2 on esitetty biometaanin sekä nykyisin käytettävien fossiilisten polttoaineiden ominaisuuksia. Biometaanin koostumus voi eri laitoksien välillä vaihdella, joten taulukossa on yleiskuvan antamiseksi esitetty metaanin palamisominaisuuksia. Biometaani koostuu kuitenkin käytännössä ainoastaan metaanista sekä muutamista tilavuusprosentteista hiilidioksidia, joten taulukon arvot antavat hyvän käsityksen biometaanin ominaisuuksista. Hiilidioksidin esiintyminen vaikuttaa käytännössä ainoastaan nostamalla aineen oktaanilukua sekä laskemalla hieman polttoaineen lämpöarvoa. Taulukossa esitetyt perinteisten polttoaineiden arvot voivat todellisuudessa myös vaihdella, sillä esimerkiksi dieselpolttoaineen koostumus vaihtelee muun muassa talvi- ja kesälaatuojen välillä.

Taulukko 2. Metaanin sekä fossiilisten polttoaineiden palamiseen liittyviä ominaisuuksia. (Alakangas ja muut, 2016, s. 182; Lampinen, 2009, s. 431–433; Suomen Kaasuyhdistys, 2014, s. 9; Khan ja muut, 2015, s. 786.)

Ominaisuus	Yksikkö	Metaani	Bensiini	Diesel
Paine	bar	1	1	1
Lämpötila	°C	0	15	15
Tiheys	kg/m ³	0,72	750	835
Höyrystymislämpötila	°C	-161,5	80	270
Itsesyttymislämpötila	°C	650	260	316
Tehollinen lämpöarvo	MJ/kg	50	42,7	43
	MJ/m ³	36	32	35,9
Stökiometrinen ilman-tarve	kg/kg	17,2	14,7	14,6
Oktaaniluku/setaaniluku	-	140	95	54
Leimahduspiste	°C	-188	-45	63
Syttymisraja ilmassa	til-%	5–15	1–8	0,6–6,5

Taulukosta on luettavissa polttomoottorikäytön kannalta oleellisia näkökulmia eri polttoaineiden välillä. Biometaanin käytön kannalta edullisia seikkoja ovat muun muassa korkea itsesyttymislämpötila sekä oktaaniluku, joiden myötä kipinäsytytteisen moottorin hyötysuhdetta voidaan merkittävästi parantaa. Lisäksi metaanin korkea höyrynpaine sekä alhainen jäätymispiste luovat biometaanille hyvät kylmäkäyttöominaisuudet. Varsinaisen liikennekäyttöön jalostetun biometaanin oktaaniluku on todellisuudessa hieman alle 140, mutta tämäkin on selvästi suurempi kuin bensiinillä. Myös fossiiliseen maakaasuun nähden biometaanin puristuskestävyys on hieman korkeampi, sillä maakaasu sisältää metaanin lisäksi yleensä myös muita palavia kaasuja, kuten propaania ja butaania. (Lampinen & Rautio, 2015, s. 130, 156).

2.2 Biometaani polttomoottorissa

Kaasumaiset polttoaineet soveltuvat hyvin polttomoottoreihin, eikä näiden hyödyntäminen vaadi merkittäviä rakenteellisia muutoksia verrattuna perinteisillä polttoaineilla toimiviin moottoreihin. Suurin osa markkinoilla olevista kaasumoottoreista toimii kipinäsytytteisinä, sillä biometaanin korkea puristuskestävyys estää polttoaineen käytön sellaisenaan puristussytytteisissä moottoreissa. Metaanipolttoaineen itsesytyminen polttomoottorissa vaatisi noin 38:1 puristussuhteen (Khan ja muut, 2015, s. 788).

Markkinoilla kuitenkin on myös puristussytytteisiä kaasumoottoreita, jotka perustuvat niin sanottuun dual fuel -tekniikkaan. DF-moottoreissa polttoaineen ja ilman seos sytytetään palotilaan ruiskutettavalla toisella, herkästi syttyvällä nestemäisellä polttoaineella, jonka määrä vaihtelee moottorin kuormituksen mukaan. Joutokäynnillä moottorit käyvät usein pelkästään sytyttävällä polttoaineella, mutta täydellä kuormalla kaasun osuus nousee ajoneuvomoottorien kokoluokassa maksimissaan noin 90 prosenttiin. Sytyttävänä polttoaineena käytetään useimmiten dieseliä, joka voi valmistusperältään olla myös uusiutuvaa. (Khan ja muut, 2015, s. 788.)

Perinteiset kipinäsytytteiset bensiinimoottorit ovat dieselkäyttöisiä huonompia hyötysuhteeltaan. Tämä johtuu muun muassa bensiinin huonosta puristuskestävyydestä,

jonka vuoksi perinteisillä polttoaineilla toimivien kipinäsytytteisten polttomoottorien puristussuhde on rajoittunut nakutusvaaran vuoksi. Puristussuhde on yksi merkittävimmistä polttomoottorin hyötysuhteeseen vaikuttavista tekijöistä, ja korotettu puristussuhde näkyy moottorin parempana hyötysuhteena (Khan ja muut, 2015, s. 789).

Korkean oktaanilukunsa vuoksi biometaanin on moottoriteknisesti paras polttoaine kipinäsytytteisiin moottoreihin, sillä moottorin puristussuhdetta voidaan kasvattaa ja moottorin tehoa sekä hyötysuhdetta merkittävästi parantaa (Lampinen & Rautio, 2015, s. 156, 159). Tavallisesti bensiinikäyttöiset ajoneuvopolttomoottorit toimivat hieman alle 100-oktaanisella polttoaineella ja keskimäärin noin 10:1–12:1 puristussuhteella. Pelkällä kaasulla toimivissa ajoneuvoissa käytettävä puristussuhde voitaisiin metaanipolttoaineiden 130–140 oktaaniluvun ansiosta nostaa noin arvoon 16:1 ilman pelkoa nakutuksesta. Korotettu puristussuhde kaasupolttoaineella mahdollistaa bensiinimoottoreiden hyötysuhteen kohottamisen lähes dieselmoottorien tasolle. (Khan ja muut, 2015, s. 789.)

Normaali-ilmanpaineessa kaasumaisen polttoaineen avulla voidaan saavuttaa myös tehokkaasti nestemäisiä polttoaineita homogeenisempi ilman ja polttoaineen seos kaikissa moottorityypeissä, sillä nestemäisen polttoaineen pisaroituminen, höyrystyminen ja hyvän seoksen muodostuminen vaativat aikaa. Kaasumaisilla polttoaineilla on luontainen taipumus korkeatasoiseen sekoittumiseen sekä hajautumiseen palotilassa, johtaen palamistapahtuman tehostumiseen ja täydellisempään polttoaineen palamiseen. (Khan ja muut, 2015, s. 789.)

2.3 Biometaanin päästöt

Suomen energiajärjestelmän kannalta kotimaisen biokaasun merkitys korostuu, kun sitä käytetään liikennepolttoaineiden tuotantoon. Tieliikenne aiheuttaa monia kaikista vaikeimmin alennettavissa olevia ilman epäpuhtauksia, ja kotimaisella biokaasualalla on Suomessa erittäin suuri kasvupotentiaali sekä määrällisesti että laadullisesti. Biokaasun valjastamisella liikennesektorin käyttöön voidaankin merkittävästi vähentää raakaöljyn tuontia ja lisätä Suomen energiaomavaraisuutta, sillä lähes täydellinen liikennesektorin

riippuvuus raakaöljystä aiheuttaa tämän käytön ympäristövaikutusten lisäksi suuren energian huoltovarmuusongelman. (Lampinen, 2015, s. 191, 192.)

Kaasumaisten polttoaineiden hyvä sekoittuminen ilman kanssa ja raskaiden hiilivetyjen puuttuminen näkyvät muun muassa hiukkaspäästöissä, sillä nämä muodostuvat pääosin epätäydellisen palamisen seurauksena muodostuvien nokihiukkasten ympärille. Kaasupolttoaineen yksihiilisyyys ja pieni moolimassa johtavat pieniin päästöihin, ja raskaat, usein kaikkein myrkyllisimmät päästökomponentit puuttuvat kokonaan (Lampinen & Rautio, 2015, s. 129).

Biokaasun käsittelyssä ja polttoainekäytössä tärkein huomioitava päästökomponentti on itse metaani, jonka pääsy ympäristöön on estettävä kaikissa käsittelyn vaiheissa. Metaanin vuotaminen ympäristöön lisää polttoaineen kasvihuonevaikutusta merkittävästi jo pieninä vuotomäärinä, sillä metaanilla on tarkastelujaksosta riippuen 28–84 kertaa voimakkaampi kasvihuonevaikutus kuin hiilidioksidilla. Tuo GWP-arvo (Global Warming Potential) kuvastaa – hiilidioksidiin suhteutettuna – kaasun kykyä vangita ilmakehän lämpöenergiaa 20 ja 100 vuoden tarkastelujaksolla. Metaanivuodon ylittäessä 10 %, tuotetun biometaanin kasvihuonepäästöt ylittävät jopa bensiinin tai dieselin polttoainekäytön elinkaaren ympäristövaikutukset. (Lampinen & Rautio, 2015, s. 136; Stocker ja muut, 2013, s. 714.)

Biokaasun elinkaaripäästöt voivat kuitenkin saavuttaa myös negatiivisia arvoja. Esimerkiksi erilliskerätyn biojätteen tai maatalouden lietelantaperäisten raaka-aineiden mädättämöiden tuottaman kaasun elinkaaripäästöt voidaan nähdä negatiivisena, mikäli niissä käytetyistä raaka-aineista muodostuneet metaanipäästöt olisivat ilman biokaasuhyödyntämistä joutuneet ilmakehään. Liikennekäyttöön jalostettu metaanikaasu muuttuu ajoneuvon moottorissa hiilidioksidiksi eli merkittävästi metaania vaarattommaksi kasvihuonekaasuksi. (Lampinen, 2008, s. 11.)

2.4 Biokaasun turvallisuus

Biokaasu on polttoaineena erittäin turvallinen sekä terveydelle että ympäristölle. Metaanilla on korkea itsesyttymislämpötila, 650 °C, kun bensiinillä se on 260 °C ja dieselöljyllä 250 °C, minkä lisäksi syttymistä onnettomuus- tai tulipalotilanteessa vaikeuttaa kaipa syttymisalue sekä metaanin kaasumainen olomuoto. Kaasumainen polttoaine karkaa vuodon sattuessa välittömästi ylös ilmaan, kun nestemäiset bensiini ja diesel jäävät valumaan vuotokohtaan aiheuttaen tulipalon ja ympäristön saastumisen riskin. Myös ilmassa bensiini- ja dieselhöyryt syttyvät metaanikaasua paljon pienemmissä pitoisuuksissa (bensiini 1 %, dieselöljy 0,6 %), kun taas metaanipitoisuuden on ilmassa oltava vähintään 5 % sen syttymiseksi siihen tuodusta kipinästä. Biometaani on siis onnettomuustilanteen sattuessa selvästi fossiilisia bensiini- ja dieselpolttoaineita turvallisempi polttoaine. (Lampinen, 2008, s. 144.)

Myös ympäristö- ja terveysriskit pienenevät siirryttäessä fossiilisista polttoaineista biometaanin käyttöön. Raakabiokaasussa olevien haitallisten aineiden osuus on hyvin pieni, ja ne saadaan puhdistuksessa sekä jalostuksessa lähes täydellisesti poistettua. Biometaanin sisältämät mikro-organismit eivät hengitettynä ole ihmiselle vaarallisia. Taulukossa 4 on esitettyä Sosiaali- ja terveysministeriön asetus vaarallisten aineiden luettelosta (STMA 509/2005), jossa vertaillaan metaanin sekä bensiinin haitallisuusluokituksia. Taulukosta nähdään, että metaani on selvästi vaarattomampaa kuin esimerkiksi bensiini.

Taulukko 3. Metaanin sekä bensiinin vaarallisuusluokitusten vertailua asetuksen STMA 509/2005 mukaisesti (Lampinen, 2008, s. 144).

Vaarallisuusluokitus	Selitys	Metaani	Bensiini
T	Myrkyllinen	Ei	Kyllä
Carc	Karsinogeeninen	Ei	Kyllä
Xn	Haitallinen	Ei	Kyllä
R45	Karsinogeeninen	Ei	Kyllä
R65	Keuhkovaurion riski nieltäessä	Ei	Kyllä
F+	Erittäin helposti syttyvä	Kyllä	Kyllä
N	Ympäristölle vaarallinen	Ei	Kyllä

Määrä, joka biometaania tulisi hengittää sairastuakseen, on niin suuri, että todellista terveysriskiä vuodon sattuessa ei ole. Käytännössä liikennemetaani voi olla haitallista ainoastaan silloin, mikäli sitä on ilmassa niin paljon, että ilman happipitoisuus ei riitä hengittämiseen. Ilmaa kevyempänä kaasuna metaani kuitenkin haihtuu avoimessa tilassa välittömästi ylös ilmaan. Myös tankatessa ympäristöön vapautuu hyvin pieni määrä biometaania, keskimäärin noin 5 cm^3 (0,005 l). Mikäli kaasussa olisi minkäänlaisia taudinaiheuttajia, on mahdollisesti tankkaustilanteessa absorboitunut määrä liian pieni luodakseen todellista riskiä. (Baxter ja muut, 2013, s. 430; Lampinen, 2008, s. 144.)

Paineistetulla kaasulla toimivien ajoneuvojen korkeat säiliöpaineet voivat aiheuttaa huolta, sillä esimerkiksi mediassa on tuotu esiin tapauksia, joissa kaasujoneuvojen kaasusäiliöt ovat räjähtäneet. Vastaavat tapaukset ovat kuitenkin hyvin epätodennäköisiä tehdasvalmistetuissa kaasujoneuvoissa, sillä kaasukäyttö vaatii hyvin tarkkojen standardien ja vaatimusten täyttämisen.

Kaasujoneuvojen korkeapainesäiliöt noudattavat Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomission (UN/ECE) sääntöä numero 110, joka määrää tarkasti sallittujen painekaasusäiliöiden vaatimukset. Sääntö luo standardit muun muassa ajoneuvojen polttoainesäiliöiden käyttöolosuhteet, käyttöiän, määräaikaisten tarkistukset sekä esimerkiksi törmäyksessä tai tulipalossa olleiden säiliöiden tarkistukset. Sääntö myös edellyttää säiliöiden erilaiset turvajärjestelmät, joita ovat muun muassa käsikäyttöinen venttiili, automaattinen kaasupullonventtiili, lämpötilan ja paineen vaikutuksesta aktivoituva paineenrajoituslaite, ylivirtausventtiili, paineensäädin sekä elektroninen ohjauslaite. (UN/ECE, 2015, s. 16–18, 51, 52.)

Vaatimukset kaasukäyttöisten ajoneuvojen painekaasusäiliöille ovat siis erittäin tarkat turvallisen käytön takaamiseksi. Mediassa esillä olleet räjähdykset ovatkin usein aiheutuneet tarkastamattomista ja iän myötä heikentyneistä tai ylitäytetyistä kaasusäiliöistä, usein konvertoiduissa kaasuautoissa. Tehdasvalmisteiset kaasujoneuvot myös törmäystestataan tarkasti perinteisten ajoneuvojen tapaan ja näiden turvallisuuteen kiinnitetään suurta huomiota. Todellisuudessa kaasujoneuvojen painesäiliöt eivät siis luo suoranaista turvallisuushakaa, kunhan näiden kuntoa seurataan erityisesti ajan kuluessa ja kaasusäiliöt vaihdetaan ajoittain uusiin suositusten mukaisesti.

3 Biokaasun ajoneuvokäyttö

Kaasumaisen polttoaineen hyödyntäminen polttomoottorissa perustuu samoihin periaatteisiin kuin perinteistenkin polttoaineiden. Suurimmat muutokset johtuvat kuitenkin polttoaineen kaasumaisuudesta, joka luo erilaisia tarpeita muun muassa polttoaineen tankkaamisen, kuljettamisen sekä polttoainejärjestelmän näkökulmasta. Tässä luvussa käydään yleisellä tasolla läpi polttoainekaasun tankkaamiseen sekä ajoneuvon polttoainejärjestelmään liittyvät pääperiaatteet.

3.1 Polttoainekaasun tankkaaminen

Kaasun tankkaaminen eroaa nestemäisten polttoaineiden tankkaamisesta vain vähän, vaikka tankkausasemien järjestelmät ovatkin pinnan alla melko erilaiset johtuen kaasun ajoneuvokäytön vaatimasta korkeasta paineesta. Tarve paineistaa kaasu polttoainesäiliöihin mahdollistaakin kaksi erilaista tankkausmenetelmää, joista käytetään prosessiin kuluvan ajan perusteella nimityksiä hidas- ja nopeatankkaus.

Kaasun tankkausjärjestelmästä käytetään termiä nopeatankkaus, kun tankattavaa kaasua säilytetään tankkausasemalla jo valmiiksi lopullisessa korkeapaineessa ja kaasu siirtyy sellaisenaan polttoainetankkiin. Tässä tapauksessa tankkauksessa kuluva aika ei eroa juurikaan nestemäisten polttoaineiden tankkauksen kestosta. Kaikki julkiset polttoainekaasun tankkausasemat Suomessa ovat nopeatankkausasemia.

Sen sijaan hidastankkauksessa kaasua säilytetään matalassa paineessa, ja paineistus tapahtuu tankkaamisen yhteydessä hiljalleen. Hidastankkausasemat ovat nopeatankkausasemia halvempia, ja niitä käytetään tyypillisesti sovelluksissa, joissa kulkuneuvot palaavat päivittäin omalle varikolleen. Esimerkiksi kaasukäyttöisiä kaupunkibusseja sekä jakelu- ja keräysautoja tankataan usein yritysten omilla hidastankkausvarikoillaan yön yli ennen seuraavan päivän ajovuoroja. Kuvassa 1 on esitettyä Vaasan kaupungin biokaasubussien hidastankkausvarikko sekä hidastankkausjärjestelmään kytkettynä olevia biokaasubusseja.



Kuva 1. Vaasan kaupungin biokaasubussien tankkausvarikko, jossa busseja kytketään hidastankkausjärjestelmään (Scania, 2017a).

Varsinainen ajoneuvon tankkaus on hyvin yksinkertaista, ja se perustuu samoihin toimenpiteisiin sekä nopea- että hidastankkauksen tapauksessa. Kaasun julkiset pikatankkausasemat muistuttavat ulkoiselta rakenteeltaan perinteisten polttoaineiden tankkausasemia, ja niiden välinen ulkoinen ero on käytännössä ainoastaan varsinaisessa tankkauspistoolissa.

Kaasumainen polttoaine vaatii tankatessa hyvän tiivistyksen, jottei polttoainetta pääse karkaamaan ulkoilmaan. Kaasuautoa tankatessa tankkausliitin liitetään auton polttoainetankkiin liittimessä olevan lukituskahvan avulla, jolloin tankkausletku ja -liitin tiivistyy

kiinteästi ajoneuvon tankkausjärjestelmään kiinni. Tämän jälkeen tankkaus aloitetaan painamalla tankkausaseman täyttönappia ja tankkausjärjestelmä tankkaa auton kaasusäiliön automaattisesti. Kuvassa 2 biokaasun tankkausliitin kiinnitettynä Vaasan bio-kaasubussin tankkausjärjestelmään.



Kuva 2. Polttoaineikaasun tankkausliitin kiinnitettynä kaasubussin tankkausjärjestelmään (Scania, 2017a).

3.2 Kaasukäyttöisen ajoneuvon tekniikka

Kaasukäyttöisten ajoneuvojen polttomoottorien tekniikka perustuu täysin samoihin periaatteisiin kuin perinteisten, nestemäisten polttoaineiden. Kaasumaisuus normaali-ilmanpaineessa ja tämän johdosta korkeasti paineistettu polttoaine tuo kuitenkin erilaisia komponenttitarpeita verrattuna perinteisiin nestepolttoaineisiin. Suurimmat eroavaisuudet nestemäisen ja kaasumaisen polttoaineen ajoneuvokäytön välillä näkyvät kuitenkin ainoastaan polttoainesäiliössä sekä -linjassa. Moottorin sytytys- tai ruiskutusjärjestelmät eivät vaadi erityistä tekniikkaa, ja myös vanhoja, alun perin perinteisillä polttoaineilla toimivia ajoneuvoja on mahdollista muuntaa sellaisenaan kaasukäyttöisiksi.

Käytännössä kaikki nykyiset raskaan liikenteen kulkuneuvot toimivat dieselpolttoaineella hyvän hyötysuhteen saavuttamiseksi. Valtaosa markkinoilla olevista kaasukäyttöisistä raskaan kaluston kulkuneuvoista sen sijaan toimii kipinäsytytteisinä, mutta osa valmistajista tarjoaa myös dual fuel -dieselsytytyksellä toimivia kaksoispolttoainemoottoreita. Käytetystä sytytystekniikasta riippumatta ajoneuvojen kaasukomponentit perustuvat samoihin periaatteisiin. Kaasukäyttöisen ajoneuvon keskeiset komponentit ovat kaasusäiliö, paineensäädin sekä moottorin ohjausyksikkö. Seuraavaksi tarkastellaan polttoainekaasun kulkeutumista säiliöstä moottoriin ja selvitetään keskeisimpien kaasupolttoaineen vaatimien komponenttien toimintaa.

Sekä henkilöautoissa että raskaassa kalustossa käytettävä biokaasu säilötään pääasiassa paineistettuna kaasuna 200–250 bar paineessa. Korkeapaineisen kaasun säilyttäminen ajoneuvossa vaatii tavanomaista suurempaa huomiota, ja kaasusäiliöille on asetettu monia vaatimuksia muun muassa Euroopan sekä Suomen lainsäädäntöjen ja ohjeistusten nojalla. Lainsäädännöllisestä näkökulmasta biometaani ja biokaasu rinnastetaan maakaasuun. (Söderena ja muut, 2019, s. 7.) Tulevaisuudessa erityisesti raskaimmat kuljetusajoneuvot tulevat hyödyntämään jäähdyttämällä nesteytettyä kaasua, jonka säiliö vaatii korkean paineen sijasta hyvin matalan lämpötilan.

Painekaasusäiliöiden valmistukseen sopivat monet eri materiaalit, ja nämä vaikuttavat lähinnä säiliön kustannuksiin sekä massaan. Halvimmat sekä painavimmat säiliöt on valmistettu täysin teräksestä, ja näiden painoa voidaan vähentää käyttämällä teräksen ohella esimerkiksi hiili- tai lasikuitua. Eri materiaalien käyttö kuitenkin lisää valmistuskustannuksia. Myös polymeerien ja hiilikuitujen yhdistelmistä tehtyjä säiliöitä valmistetaan, ja kaikista kevyimmät säiliöt on valmistettu komposiitista. Komposiittisäiliöiden massa on vain noin neljännes verrattuna terästankkeihin. (Söderena ja muut, 2019, s. 34)

Kaasu kulkeutuu polttoainesäiliöstä edelleen korkeapaineisena polttoainelinjaa pitkin moottorin lähettyvillä olevaan paineensäätimeen. Paineensäädin laskee kaasun paineen huomattavasti pienemmäksi, muutaman barin paineeseen. Lähellä ilmanpainetta oleva kaasu voidaan kuljettaa seuraaville komponenteille ja tässä paineessa myös syöttää moottoriin. (Bosch, 2013.)

Moottorin sähköinen ohjausyksikkö (Electronic Control Unit, ECU) on yksi polttomoottorijärjestelmän tärkeimmistä komponenteista käytettäessä niin bensiini-, diesel- kuin kaasupolttoainettakin. Kaasujärjestelmässä se vastaa samoista asioista kuin muillakin polttoaineilla, eli eri sensorisignaalien avulla ohjausyksikkö muun muassa määrittää eri tehoaluiden polttoaineseoksen ja sytytyksen ajoituksen sekä valvoo moottorin toimintaa ongelmien varalta. Moottorin ohjausyksikkö ohjaa kaasun määrää, joka paineensäätimeltä jatkaa polttoaineen jakoputkeen sekä siitä polttoainesuuttimille. (Bosch, 2013.)

Sekä käytännön että tekniset erot biokaasukäyttöisten sekä nestemäisiä polttoaineita hyödyntävien ajoneuvojen välillä ovat siis hyvin pieniä, ja käyttäjälleen kaasumaisen polttoaineen käyttämisen erot näkyvät ainoastaan tankkaustilanteessa. Tällöinkin kaasua tankkaava kuljettaja pääsee helpommalla, sillä ajoneuvoa tankatessa kuljettajan tarvitsee ainoastaan liittää tankkausliitin ajoneuvoon, minkä jälkeen tankkausjärjestelmä täyttää ajoneuvon automaattisesti.

4 Biokaasukäyttöisen raskaan kaluston huolto- ja korjaustoimet

Tämän työn tarkoituksena oli myös selvittää biokaasukäyttöisen raskaan kaluston kestävyttä sekä huollon tarvetta. Tätä varten eri biokaasukalustoilla operoivat raskaan kaluston käyttäjät toimittivat työtä varten kalustonsa elinkaaren aikaisiin huoltoihin liittyvää dataa. Näiden avulla biokaasukäyttöisen raskaan kaluston huoltotapahtumien sisällöistä sekä kaluston kohtaamista ongelmista saatiin tarkkaa tietoa ja kaluston huollon tarvetta sekä kestävyyttä voitiin analysoida.

Biokaasukäyttöisen kaluston huoltoihin liittyvää tietoa toimittivat ympäristöhuoltoalan yritys Remeo viidestä biokaasukäyttöisestä jätekeräysautostaan sekä Vaasan kaupunki kahdestatoista biokaasukäyttöisestä kaupunkilinja-autostaan. Selvitystyöhön tarjotut huoltotiedot ovat hieman erityyppisiä, ja niiden käsittelyssä keskitytään eri näkökulmiin tietojen sisältöjen mukaan: Remeon tarjoamat tiedot keräysautoista antavat tarkan kuvan varsinaisten kalustoa ylläpitävien huoltojen sisällöistä, kun taas Vaasan kaupungin bussien huoltodatasta ilmenee selkeämmin kaluston kohtaamien vikatapausten kirjo.

Käsiteltävistä huoltotiedoista nostettiin esiin työn tarkastelun kannalta oleellimmat seikat, joita ovat muun muassa huolloissa suoritettavat toimenpiteet sekä erilaiset kaluston moottorin toimintaan ja kaasupolttoaineeseen yhdistettävissä olevat viat. Kaluston ylläpitoon liittyvät muut huoltotoimenpiteet, kuten jarrupalojen vaihdot, jätettiin huomioimatta, sillä nämä eivät liity suoraan käytettyyn polttoaineeseen. Selvitystyön tarkastelun kohteena olivat huoltojen sisältöjen lisäksi näiden sisältämien eri toimenpiteiden välillä kuluneet ajat sekä ajetut kilometrit.

4.1 Selvitystyössä tutkittava kalusto

Selvitystyöhön biokaasukäyttöisten kalustojen huoltotietoja tarjonneita toimijoita oli kaksi. Näistä ensimmäinen on yksityinen yritys Remeo Oy, joka on suomalainen jätelogistiikka- ja ympäristöhuoltoalan yritys. Yrityksen toiminta ja tavoitteet perustuvat

kiertotalouden ratkaisujen kehittämiseen sekä haitallisten ympäristövaikutusten minimointiin ja kestävä kehityksen periaatteisiin nojautumiseen. Yritys on myös toiminnassaan sitoutunut energiatehokkuuteen sekä fossiilisten polttoaineiden korvaamiseen uusiutuvilla polttoaineilla. Toinen huoltotietoja tarjonnut toimija oli Vaasan kaupunki, jonka tavoitteena on saavuttaa ensimmäisenä kaupunkina Suomessa hiilineutraalisuus. Osana näitä tavoitteita sekä periaatteita molemmat toimijat ovat ottaneet osaksi toimintaansa biokaasukäyttöisiä ajoneuvoja: Remeo jätteenkeräysautoja ja Vaasan kaupunki lähiliikennebusseja. (Remeo, 2020; Scania, 2017b.)

Remeon biokaasukäyttöisten keräysautojen huoltotietoja toimitti yrityksen myyntijohtaja Ville Pitkänen. Tiedot kattavat viiden jätekeräysauton huoltoihin liittyvää dataa aina ajoneuvojen käyttöönotosta alkaen vuoden 2020 syksyyn asti, jolloin näitä on viimeisimmän kerran huollettu. Huoltotiedot ovat peräisin ajoneuvoja huoltavan yrityksen tiedokannasta, ja ne sisältävät huoltokohtaisesti kaikki suoritettut toimenpiteet, käytetyt varaosat sekä ajoneuvojen matkamittarilukemat. Remeon selvitystyöhön tarjoamat huoltotiedot kattavat viisi biokaasukäyttöistä jätekeräysautoa, jotka on otettu käyttöön vuosien 2018 ja 2019 aikana. Näistä eniten käytetyllä on ajettu noin 88 000 kilometriä ja vähiten käytetyllä noin 39 000 kilometriä.

Vaasan kaupungin kahdentoista biokaasukäyttöisen lähiliikennebussin huoltotietoja toimitti kaupungin liikennesuunnittelupäällikkö Pertti Hällilä. Työhön tarjotut huoltotiedot on alun perin koottu bussien liikennöinnin estävien syiden ja näiden korvaamiseksi käytetyn kaluston kustannusten seuraamiseen, ja tästä syystä tiedot painottuvat bussien huolto- ja vikatapausten esiintyvyyden ympärille. Huoltotiedot pitävät sisällään busshi-kohtaisesti vuosilta 2018 ja 2019 kaikki tapaukset, jolloin kaasubusseja ei ole voitu käyttää normaalilla liikennöintivuorollaan ja nämä aiheuttaneet syyt. Biokaasubussit on otettu käyttöön alkuvuodesta 2017, ja vuoden 2019 loppuun mennessä niillä on ajettu keskimäärin yli 200 000 kilometriä.

Näiden toimijoiden käyttämät ajoneuvot ovat eri valmistajien tuotantoa. Keräysautojen valmistaja on Mercedes-Benz, ja viidestä ajoneuvosta neljä on malliltaan Econic 2630 G ja yksi muita hieman raskaampi Econic 1830 G. Biokaasubussien valmistaja on Scania, ja

kaikki kaksitoista bussia ovat malliltaan Scania Citywide. Busseista kaksi on kooltaan ja asiakaspaikoitukseltaan suurempia kolmeakselisia telibusseja ja loput kaksiakselisia.

Molempien toimijoiden käyttämä kalusto perustuu eri ajoneuvomalleista huolimatta valmistajiensa samoihin kaasumoottorimalleihin. Molemmat moottorit ovat kipinäsytytteisiä rivimoottoreita, mutta niiden tekniset ominaisuudet eroavat joissain määrin toisistaan. Taulukossa 4 on esitetty kaasumoottorien teknisiä ominaisuuksia.

Taulukko 4. Työssä käsiteltävien biokaasukäyttöisten ajoneuvojen käyttämien moottorien ominaisuuksia (Mercedes-Benz, 2019, s. 36; Scania, 2018).

	Mercedes-Benz M 936 G	Scania OC09 104
Moottorin tyyppi	Rivimoottori	Rivimoottori
Iskutilavuus	7,7 litraa	9,3 litraa
Sylinterien lukumäärä	6	5
Venttiileitä per sylinteri	4	4
Sylinterin halkaisija	110 mm	130 mm
Iskun pituus	135 mm	140 mm
Maksimiteho	222 kW	206 kW
Maksimiteho	302 hv	280 hv
Maksimivääntömomentti	1200 Nm	1360 Nm

Myös eri ajoneuvotyyppien vuosittaiset käyttömäärät eroavat toisistaan. Keräysautojen huoltosopimukseen sisällytetty suunniteltu käyttömäärä vuodessa on eri ajoneuvojen välillä joko 35 000 tai 40 000 kilometriä, kun taas bussien kohdalla vuosittainen ajosuorite on oltava vähintään 65 000 kilometriä. Taulukossa 5 on esitetty työssä käsiteltävän kaluston käyttöönotto- sekä matkamittaritiedot. Keräysautojen matkamittarilukemat on luettu ajoneuvojen viimeisimmän huoltomerkinnän yhteydestä aikavälillä 28.8.2020–12.10.2020. Biokaasubussien esitetty kokonaisajomäärä on peräisin huoltotietojen yhteydessä toimitetusta vuoden 2019 bussien seurantaraportista, johon on kirjattu ajoneuvokohtaisesti näiden matkamittarilukemat vuoden 2019 päättyessä.

Taulukko 5. Biokaasukäyttöisten bussien (a) sekä keräysautojen (b) käyttöönotto- ja matkamittaritiedot.

(a) Biokaasukäyttöiset kaupunkibussit		
Ajoneuvo	Käyttöönotto	Ajomäärä [km]
A1	helmikuu 2017	192682
A2	helmikuu 2017	201437
A3	helmikuu 2017	198320
A4	helmikuu 2017	219734
A5	helmikuu 2017	213847
A6	helmikuu 2017	205051
A7	helmikuu 2017	185272
A8	helmikuu 2017	205272
A9	helmikuu 2017	214086
A10	helmikuu 2017	212195
A11	helmikuu 2017	212507
A12	helmikuu 2017	219924

(b) Biokaasukäyttöiset jätekeräysautot		
Ajoneuvo	Käyttöönotto	Ajomäärä [km]
B1	tammikuu 2018	88 144
B2	tammikuu 2018	80 888
B3	marraskuu 2018	47 356
B4	joulukuu 2018	47 004
B5	elokuu 2019	39 459

Käytettävissä olevia eri kalustotyyppien huoltotietoja käytettiin pääasiassa eri tarkoituksiin. Biokaasukäyttöisten jätekeräysautojen huoltotiedoissa keskityttiin varsinaisiin huoltoihin ja niiden sisältöihin, kun taas biokaasubussien huoltotiedoissa paneuduttiin näiden kohtaamien erilaisten vikatapausten arviointiin. Näiden painopisteiden avulla työssä arvioitiin biokaasukäyttöisten raskaan kaluston ajoneuvojen huollon tarvetta sekä kestävyyttä.

4.2 Kaasukäyttöisten ajoneuvojen huoltaminen

Kaasukäyttöisten ajoneuvojen huoltaminen ei juurikaan eroa perinteisiä polttoaineita hyödyntävien ajoneuvojen huoltotarpeista. Kaasukäyttöisten ajoneuvojen toiminta perustuu moottoriteknisesti samoihin periaatteisiin ja komponentteihin kuin perinteistenkin polttoaineiden ajoneuvot, ja kaasujoneuvojen huoltaminen ei näiltä osin eroa perinteisistä ajoneuvoista. Toisin kuin valtaosa dieseltekniikkaa hyödyntävästä raskaasta liikenteestä, suuri osa kaasukäyttöisten ajoneuvojen valmistajista hyödyntää kuitenkin kalustossaan kipinäsytytystä. Tällöin biokaasukäyttöisten ajoneuvojen huoltotarpeisiin sisältyy myös muun muassa sytytystulppien vaihtaminen.

Kaasumaisen polttoaineen käyttö luo kuitenkin nestemäisiin polttoaineisiin verrattuna myös täysin uudenlaisia huomiokohtia. Korkeaan paineeseen puristetun kaasumaisen polttoaineen hyödyntäminen vaatii polttoaineen säilömistä sekä moottoriin kuljettamisen osalta perinteiseen nähden uusia järjestelmiä, esimerkiksi korkeapaineiset kaasusäiliöt sekä näiden venttiilit ja muut oheislaitteet. Kaasumaisen polttoaineen pääseminen ulkoilmaan huoltojen yhteydessä on myös estettävä. Tästä johtuen ennen varsinaisten huoltotoimien aloittamista moottorin kaasulinjastot on tyhjennettävä polttoaineesta ja painekaasusäiliöiden kaikki sulkuventtiilit on suljettava.

Kaasujoneuvoja voidaan huoltaa tavanomaisissa korjaamotiloissa, mikäli ajoneuvon huollon yhteydessä ei tehdä tulitöitä tai käsitellä varsinaisia kaasujärjestelmiä. Korjaamotilassa on kuitenkin oltava toiminnassa oleva ilmanvaihto. Sen sijaan kaasujärjestelmään tehtävien huolto- ja korjaustoimenpiteiden korjaamotiloihin on asetettu lakisääteinen vaatimus ilmanvaihtojärjestelmälle (suositus noin 3–5 ilmanvaihtoa tunnissa). Lisäksi huoltamotiloihin suositellaan kaasuvuodon tunnistavia järjestelmiä, jotka mahdollisesti voivat myös automaattisesti sammuttaa tilan sähköjärjestelmät. Suosituksena on myös, ettei huoltotilan kattorakenteisiin jäisi tuulettamattomia ilmataskuja, joihin voisi kerääntyä syttyvä kaasun ja ilman seos. Ajoneuvojen kaasujärjestelmiin liittyvien huolto-, korjaus ja säätötoimenpiteiden suorittaminen vaatii korjaamoliikkeen vastuuhenkilöltä tiettyä kaasujoneuvojen huoltamisen pätevyysluokkaa. (Suomen kaasuyhdistys ja muut, 2015, s. 4, 11)

4.3 Kaasukaluston yleisimmät huoltotoimenpiteet

Kaasukäyttöisten ajoneuvojen huoltojen sisällöistä saatiin työssä hyvä kuva Remeon tarjoamien keräysautojen huoltotietojen pohjalta. Biokaasukäyttöisten keräysautojen huoltoista toimitetut kattavat huoltotiedot sisältävät jokaisen ajoneuvon kaikki korjaus- ja huoltamokäynnit sekä niissä tehdyt toimenpiteet ja tarvitut varaosat. Viiden eri kaasukäyttöisen ajoneuvon huoltotiedoista nähtiin hyvin, mitä tavanomaiset huoltotoimenpiteet pitävät sisällään ja millaiset huoltovälit niillä on. Lisäksi usean ajoneuvon tietojen pohjalta oli helppo havaita, mitkä toimenpiteet ovat olleet tavanomaisista huoltotehtävistä poikkeavia ja minkälaisia erikoistapauksia kalusto on kohdannut.

Yleisimmät kaasukalustojen huolloissa suoritettavat toimenpiteet olivat moottoriöljyn ja tämän suodattimen, sytytystulppien sekä venttiilikoneiston kannen tiivisteen vaihtoja. Muita huolloissa usein suoritettavia toimenpiteitä olivat muun muassa voitelutyöt sekä erilaisten komponenttien kuntotarkastukset. Näiden yleisten huoltosuoritteiden joukossa ei ollut lainkaan kaasupolttoaineeseen tai tämän edellyttämiin komponentteihin yhdistettävissä olevia toimenpiteitä liittyen esimerkiksi polttoainesäiliöihin tai polttoainelinjan komponentteihin. Taulukossa 6 on esitetty lista biokaasukäyttöisten keräysautojen huoltohistorian perusteella yleisimmin suoritetuista toimenpiteistä.

Taulukko 6. Biokaasukaluston yleisesti suoritettuja huoltotoimenpiteitä lukumäärittäin.

Ajoneuvo	B1	B2	B3	B4	B5
Matkamittarilukema [km]	88 144	80 888	47 356	47 004	39 459
Huollot yhteensä	7	6	4	5	2
Moottoriöljy ja suodatin	6	6	4	4	2
Sytytystulpat	3	4	4	3	2
Venttiilik. kannen tiiviste	3	5	4	3	0
Venttiilien säätäminen	3	5	4	3	2
Voitelutyöt	2	3	4	4	0
Paineilmakuiv. raepanos	2	3	3	2	0
Lambdatunnistin	2	2	2	3	0

Taulukosta on luettavissa ajoneuvojen koko sen hetkisen elinkaaren ajalta kaikkien huoltojen yhteismäärä sekä eri toimenpiteiden suoritusten lukumäärä. Taulukosta nähdään, että osaa toimenpiteistä on suoritettu muita harvemmin ja lisäksi eri huoltosuoritusten toteutusmäärät vaihtelevat eri ajoneuvojen välillä. Esimerkiksi venttiilikoneiston kannen tiivisteen vaihto sekä venttiilivälysten säätö on suoritettu ajoneuvoista vanhimman kohdalla alle puolessa huolloista, kun taas myöhemmin käyttöön otettujen ajoneuvojen kohdalla näitä on suoritettu lähes jokaisen huollon yhteydessä.

Taulukon toimenpiteet ovat pitkälti tavanomaisia kaluston toimintakykyä ylläpitäviä huoltotehtäviä, ja niihin liittyvien komponenttien kuntoa ja vaihtotarpeita seurataan huoltojen ohessa. Monen komponentin kohdalla huoltojen yhteydessä arvioidaan yksilöllisesti tarve näiden mahdolliselle vaihdolle tai säätämiselle, ja joitain komponentteja voidaan uusia varmuuden vuoksi jo ennen kuin niiden suunniteltu käyttöikä on saavutettu. Taulukossa ei ole viittauksia suoraan kaasumaisen polttoaineen vaatimiin komponentteihin, vaan taulukossa esitetyt toimenpiteet ja niihin liittyvät komponentit ovat samoja kuin perinteisilläkin polttoaineilla toimivilla ajoneuvoilla.

Ajoneuvojen käyttöhistoriaan sisältyy luonnollisesti myös tavanomaisesta poikkeavia huolto- ja korjaustarpeita, joihin on paikoin mahdoton varautua etukäteen. Remeon bio-kaasukaluston huoltotapahtumissa suoritettut poikkeavat toimenpiteet ovat myös pitkälti olleet tavanomaisia ja pitävät sisällään lähinnä eri suodattimien tai muiden yksittäisten komponenttien vaihtoja. Taulukossa 7 on esitetty kooste kaluston huolloissa esiintyneistä, työn näkökulmasta kiinnostavista toimenpiteistä, joita on esiintynyt osassa ajoneuvoista ainoastaan kerran.

Taulukko 7. Biokaasukaluston tavallisesta poikkeavia huoltotoimenpiteitä sekä tapahtumia vastaava ajoneuvon matkamittarilukema.

Ajoneuvo	Ajomäärä	Kuvaus toimenpiteestä
B1	66726 km	Kaasujärjestelmän kaasusuodattimen irrotus ja asennus
B3	26317 km	Kaasujärjestelmän kaasusuodattimen vaihto
	47083 km	Pakokaasulaitteiston kunnon ja tiiviyn tarkastus
	47083 km	Esikatalysaattorin tarkistus ja vaihto
	47083 km	EGR-tarkastus, EGR-jäähdyttimen irrotus ja asennus
B4	47004 km	Pakokaasulaitteiston kunnon ja tiiviyn tarkastus
	47004 km	Pakoputken kunnon ja tiiviyn tarkastus
B5	20686 km	Moniurahihnan vaihto
	39459 km	Korkeapainesuodattimen vaihto

Taulukosta nähdään, että harvemmin huolloissa tehtävät komponenttihuollot ja -vaihdot ovat monimuotoisia ja niitä on ilmentynyt kalustossa vasta useiden kymmenen tuhansien ajokilometrien kohdilla. Taulukossa toistuvat elementit liittyvät pakokaasujärjestelmän komponenttien huoltamiseen sekä kaasujärjestelmän suodatinten vaihtamisiin, joita kuitenkin yksittäisissä ajoneuvoissa esiintyy vain kertaalleen.

Kaikille ajoneuvoille on täysin normaalia, että ne kohtaavat elinkaarensa aikana mahdollisesti yllättävienkin komponenttien huolto- tai vaihtotarpeita. Taulukossa esitetyistä poikkeavista toimenpiteistä ei kuitenkaan ole havaittavissa ajoneuvojen välistä jatkuvuutta esimerkiksi yllättävistä komponenttien huoltotarpeista. Lisäksi taulukossa esitetyt kaasujärjestelmään liittyvät suodatinten vaihdot ovat kaikkien keräysajoneuvojen huoltomerkintöjen osalta ainoat varsinaiseen kaasujärjestelmään liittyvät huoltotoimenpiteet. Käsitellyt huoltotiedot eivät siis viittaa siihen, että varsinainen kaasujärjestelmä tai käytetty kaasumainen polttoaine lisäisi millään tavalla ajoneuvon huollon tarvetta. Kaluston huoltohistoria koostuu lähes täysin perinteisilläkin polttoaineilla tarpeellisista toimenpiteistä.

4.4 Kaluston huoltovälit

Työssä käsitellyn kaluston huoltovälejä arvioitiin sekä Vaasan kaupungin biokaasukäyttöisten bussien että Remeon jätekeräysautojen tapauksissa. Remeon tietojen pohjalta kyettiin kuitenkin lukemaan myös eri huoltojen sisältämien toimenpiteiden esiintyvyys, ja keräysautojen tapauksessa onkin käsitelty myös yleisimmin suoritettujen toimenpiteiden välillä kuluneita aikoja.

4.4.1 Kaasukäyttöiset jätekeräysautot

Selvitystyöhön toimitettujen Remeon viiden biokaasukäyttöisen jätekeräysauton huoltotiedoista ilmenevät tiedot ajoneuvojen suoritetuista huolloista, niiden sisällöistä sekä jokaiseen korjaamokäyntiin liittyvät matkamittarilukemat. Näiden tietojen avulla selvitystyössä arvioitiin kaluston huoltovälejä, minkä lisäksi tarkasteltiin yleisimmin suoritettujen huoltotoimenpiteiden välillä kuluneita aikoja sekä ajettuja kilometrejä. Taulukossa 8 on yhteenveto Remeon kaasukäyttöisten keräysautojen huoltojen lukumäärästä sekä näiden keskimääräisistä väleistä.

Taulukko 8. Jätelogistiikkayhtiö Remeon viiden biokaasukäyttöisen keräysauton huoltojen yhteenveto.

Ajoneuvo	B1	B2	B3	B4	B5
Ajomäärä	88144 km	80888 km	47356 km	47004 km	39459 km
Käyttöönotto	2.1.2018	4.1.2018	29.11.2018	5.12.2018	30.8.2019
Huoltojen lkm	7	6	4	5	2
Huoltoväli [kk]	4,5 kk	5 kk	5 kk	4 kk	6 kk
Huoltoväli [km]	11920 km	12780 km	11770 km	9400 km	19730 km

Yrityksen viiden kaasukäyttöisten keräysauton keskimääräinen huoltoväli oli noin viisi kuukautta tai noin 13100 kilometriä. Kilometriperusteisesti lasketut keskimääräiset huoltovälit on pyöristetty kymmenen kilometrin tarkkuudella, kun taas ajallisesti lasketut huoltovälit on pyöristetty puolen kuukauden tarkkuuteen. Taulukossa esitetyistä keskimääräisistä huoltoväleistä nähdään, että kilometripohjaiset huoltojen välit vaihtelevat hyvin suuresti, jopa yli kymmenellä tuhannella kilometrillä. Sen sijaan ajallisen

tarkastelun perusteella eri ajoneuvojen huoltovälien erot pienenevät oleellisesti niin yksittäisten huoltojen kuin myös keskimääräisten huoltovälienkin välillä.

Remeon kaasukäyttöisen keräyskaluston huoltomäärien sekä -välien yhteenvedosta voidaan päätellä, että käytetyn kaluston huoltotapahtumien suunnittelu ja toteuttaminen määräytyy ajallisen tarkastelun perusteella enemmän kuin kilometriperusteisesti. Aikaperusteinen huoltosuunnittelu onkin järkevä ratkaisu kalustossa, jonka suunniteltu käyttökuormitus on tasainen ja tarkasti ennakoitavissa. Esimerkiksi juuri tiettyjä reittejä viikoittain kulkevien keräysautojen ajomäärä ja käyttötaso voidaan tarkasti ennakoida, ja huoltojen ajankohdat ja näiden sisältämät toimenpiteet voidaan suunnitella hyvissä ajoin.

Biokaasukäyttöisten keräysautojen yleisimmin suoritettaviksi toimenpiteiksi mainittiin moottoriöljyjen ja suodattimen sekä sytytystulppien vaihtamiset. Taulukossa 9 on esitetty yhteenveto näiden toimenpiteiden yleisyydestä osana kaluston huoltoja.

Taulukko 9. Biokaasukäyttöisten keräysautojen moottoriöljyn (a) ja sytytystulppien (b) keskimääräiset vaihtovälit.

(a) Moottoriöljyjen vaihtovälit					
Ajoneuvo	B1	B2	B3	B4	B5
Huoltojen lkm	7	6	4	5	2
Vaihtojen lkm	6	6	4	4	2
Vaihtoväli [kk]	5 kk	5 kk	5,5 kk	5 kk	6 kk
Vaihtoväli [km]	13900	12780	11770	11750	19730
(b) Sytytystulppien vaihtovälit					
Ajoneuvo	B1	B2	B3	B4	B5
Huoltojen lkm	7	6	4	5	2
Vaihtojen lkm	3	4	4	3	2
Vaihtoväli [kk]	10 kk	7,5 kk	5 kk	7 kk	6 kk
Vaihtoväli [km]	27810	19170	11770	15670	19730

Taulukossa on esitetty tarkemman kuvan antamiseksi myös kaikkien huoltojen yhteiskumäärä ajoneuvokohtaisesti sekä huoltosuoritteiden pohjalta määritetyt huoltovälit sekä aika- että kilometriperusteisesti. Taulukosta nähdään, että varsinaisten huoltotapahtumien tapaan myös öljynvaihtojen sekä sytytystulppien vaihtojen väliset kilometrimäärät vaihtelevat hyvin suuresti keskenään. Ajomatkoja tarkastellessa erot olivat autokohtaisestikin hyvin suuria, ja esimerkiksi eniten ajetun keräysauton B1 tapauksessa suurin ajomatka öljynvaihtojen välillä oli noin 23800 kilometriä ja pienin noin 6000 kilometriä. Ajallisesti tarkasteltuna öljynvaihdot kuitenkin suoritettiin tasaisesti, keskimäärin noin viiden kuukauden välein. Lähes kaikki ajoneuvot pysyvät öljynvaihtoväleiltään lähellä tätä keskiarvoa, ja vaihtelut tähän nähden ovat lähes poikkeuksetta noin kuukauden luokkaa.

Sytytystulppien tapauksessa kuitenkin myös ajalliset erot olivat suuria toisiinsa verrattuna. Esimerkiksi ajoneuvon B1 kohdalla eräs sytytystulppien vaihtoväli piteni yli 15 kuukauden sekä 43000 ajetun kilometrin mittaiseksi. Komponentin tärkeästä roolista sekä pitkistä vaihtoväleistä huolimatta kaluston huoltotiedoista ei ollut havaittavissa, että kuluneet tai vikaantuneet sytytystulpat olisivat aiheuttaneet moottorin sytytykseen liittyviä toimintahäiriöitä.

Sytytystulppien vaihtotoimenpiteen suorittamistarve on siis ollut hyvin joustava. Näin ollen toimenpiteen ei katsota määrittävän kaluston huollon tarvetta, vaan sytytystulppien vaihto voidaan suorittaa pääsääntöisesti muiden huoltotoimenpiteiden ohella. Pitkien vaihtovälien perusteella voidaan olettaa, että käytetyt sytytystulpat ovat äärimmilleen vietyinä hyvin pitkäaikaisia, mutta näitä on kaluston toiminnan varmistamiseksi muiden ajoneuvojen kohdalla vaihdettu useammin kuin niiden käyttöikä velvoittaisi.

Huoltotietojen sekä taulukossa 9 esitettyjen huoltovälien tarkastelun pohjalta voidaan todeta, että moottoriöljyn vaihtaminen määrittelee ensisijaisesti kaasukäyttöisen kaluston huollon tarpeen. Huoltotapahtumat saattavat muuten erota toisistaan toimenpiteiden mukaan, mutta käytännössä näille kaikille yhteistä on moottoriöljyn ja suodattimen vaihtaminen. Öljynvaihtovälit olivat myös ainoat toimenpiteet, jotka toteutettiin varsin tasaisin väliajoin.

4.4.2 Kaasukäyttöisten kaupunkibussit

Kaluston huollon tarpeeseen ja huoltoväleihin vaikuttavat ensisijaisesti ajoneuvojen suunniteltu käyttökohde ja -kuormitus. Tämä havaittiin tarkasteltaessa Vaasan kaupungin biokaasukäyttöisiä kaupunkibusseja, joiden suunniteltu vuosittainen ajosuorite oli lähes kaksinkertainen verrattuna Remeon jätekeräysautojen.

Taulukossa 10 on esitetty biokaasubussien huoltotapahtumien yhteenveto vuosilta 2018 ja 2019. Taulukkoon on koottu kaasubussien vuosien 2018 sekä 2019 yhteensä ajama matka, bussien kokonaisajomatkat vuoden 2019 päätyttyä sekä toteutettujen huoltojen lukumäärät vuosien 2018 ja 2019 aikana. Näiden pohjalta on laskettu keskimääräinen huoltoväli kilometreinä. Kuukausiperusteisten huoltovälien taulukossa esitetty keskiarvo on laskettu huoltotietoihin merkittyjen huoltojen toteutuspäivämäärien välillä kuluneiden aikojen perusteella.

Taulukko 10. Biokaasubussien vuosien 2018 ja 2019 yhteisajomäärät, kokonaisajomatkat vuoden 2019 päätyttyä, huoltotapahtumien lukumäärät sekä keskimääräiset huoltovälit.

Ajoneuvo	Ajomatka	Matkamittari	Huoltojen lkm	Huoltoväli [km]	Huoltoväli [kk]
A1	149077	192682	6	24846	2,5
A2	147500	201437	6	24583	4,5
A3	137249	198320	7	19607	3,5
A4	156939	219734	5	31388	4
A5	146518	213847	9	16280	3
A6	152092	205051	7	21727	3,5
A7	131571	185272	6	21929	4,5
A8	144913	205272	8	18114	3
A9	149578	214086	7	21368	3,5
A10	149375	212195	7	21339	3,5
A11	154972	212507	8	19372	3
A12	156145	219924	7	22306	3,5
Keskiarvo	147994	206694	6,92	21905	3,5

Bussit on otettu käyttöön vuoden 2017 alkupuolella, joten taulukko ei kuvaa täysin tarkasti bussien huoltohistoriaa. Kahden vuoden keskimääräiset huoltomäärät sekä huoltovälit ovat kuitenkin paljon yksittäistä tarkasteluvuotta tasaisemmat, sillä esimerkiksi pelkkää vuotta 2018 tarkasteltaessa keskimääräinen huoltoväli ajoneuvoille vaihteli kahdesta kahdeksaan kuukautta. Kahdelle vuodelle jaettuna vuosittainen huoltokertojen lukumäärä oli hieman yli kolme vuodessa, eli noin kolmen ja puolen kuukauden väliajoin. Kahden vuoden huoltotietoihin perustuva otanta antoi hyvän kuvan biokaasubussien keskimääräisestä huollon tarpeesta, ja lasketut keskimääräiset huoltovälit olivatkin melko lähellä toisiaan.

Biokaasubussien keskimääräinen huoltoväli oli tarkastelujaksolta noin kolme ja puoli kuukautta, kun Remeon jätekeräysautojen huoltoväli oli keskimäärin noin viisi kuukautta. Myös kilometrimääräisesti tarkasteltuna busseilla ajetaan huoltojen välillä enemmän, sillä keräysautojen keskimääräinen huoltoväli oli noin 13100 kilometriä, kun se busseilla oli 21900 km. Taulukon arvot osoittavat siis selvästi, että enemmän ajettavat ajoneuvot vaativat useammin huoltamista. Varsinainen kaluston huoltotarve voidaan arvioida tarkasti jo ennen kaluston hankintaa yhdessä kalustotoimittajan tai ajoneuvoja huoltavan huoltamon kanssa, mikäli ajoneuvojen käyttömäärä ja ajettavat kilometrit kyetään arvioimaan etukäteen.

Käytyjen huoltotietojen pohjalta ei ollut havaittavissa, että käytetty kaasumainen polttoaine tihentäisi huoltovälejä. Pääosa useimmiten suoritetuista huoltotoimista koski komponentteja, joita käytetään myös perinteisten polttoaineiden ajoneuvoissa eikä kaasumaisen ja puhtaan polttoaineen nähty vaikuttavan näiden komponenttien kulumiseen.

4.5 Kaasukäyttöisen kaluston vika- ja rikkoutumistapaukset

Huollon tarpeen lisäksi tämän työn tarkoituksena oli arvioida biokaasukäyttöisen raskaan kaluston kestävyyttä. Kaluston kestävyyttä arvioitiin niin ikään edellä mainittujen toimijoiden tarjoamien huoltotietojen pohjalta, ja myös tässä osiossa paneuduttiin sekä

Remeon että Vaasan kaupungin tarjoamiin, erityyppisten biokaasukäyttöisten raskaiden ajoneuvojen huoltotietoihin.

Tässä alaluvussa käydään läpi biokaasukäyttöisten ajoneuvojen kohtaamia vika- sekä rikkoutumistapauksia. Osiossa keskitytään ensisijaisesti Vaasan kaupungin biokaasubusseista tarjotun huoltotiedon arviointiin, sillä näiden tietojen alkuperäinen käyttökohde on ollut kaasubussien liikennöinnin estyessä tarvittun varakaluston kustannusten seuraaminen. Tiedot kattavat kaikki ne tapaukset vuosilta 2018 ja 2019, jolloin biokaasubusseja ei ole voitu käyttää omilla liikennöintivuoroillaan. Myös biokaasukäyttöisten jätke-räysautojen huoltotiedoista havaittiin tiettyjä erilaisia vikatapauksia, ja osaltaan myös nämä otetaan käsittelyyn.

Alkuperäiset kaasubussien huoltotiedot pitivät sisällään muun muassa syyn kaasubussin liikennöinnin estymiseen, tapauksen ajankohdan sekä häiriötapauksen vaikutuksen vuorokausina. Erilaisten rikkoutumistapausten kohdalla varsinaisen vian syytä ei kuitenkaan tietoihin muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta ollut kirjattu, vaan tapahtumaan oli merkitty ainoastaan vikaantuneen komponentin nimi tai ongelman vaikutus.

Näin ollen työssä ei voitu tarkasti analysoida erilaisten biokaasubussien kohtaamien rikkoutumisten perimmäisiä syitä. Eri komponenttien viat voivat olla paikoin erittäin moniulotteisia, joten vikamerkintöjä käsiteltäessä esitellään yleisellä tasolla vikojen vaikutuksia sekä joitain näiden mahdollisia aiheuttajia.

4.5.1 Kaasukäyttöiset kaupunkilinja-autot

Vuosi 2018 oli ensimmäinen täysimittainen biokaasubussien käyttövuosi, ja tällöin on aloitettu myös keräämään dataa liittyen bussien poissaoloihin liikenteestä. Biokaasubussien liikennöinnin estäviä syitä ovat olleet ensisijaisesti huolto- ja korjaustarpeet, mutta näiden lisäksi ajoa estäneitä syitä on ollut muun muassa polttoaineen puute sekä bussien esittelyt erilaisissa markkinointitapahtumissa. Eniten biokaasubussien liikennekäyttöä ovat estäneet kuitenkin erilaiset huolto- ja korjaustoimet, joiden syyt vaihtelevat perushuolloista aina moottorin toimintahäiriöihin sekä matkustamon kalusteiden kiinnityksiin.

Taulukossa 11 on esitetty kooste Vaasan kaupungin kahdentoista biokaasubussin liikennöintivuorojen menetyksistä vuosien 2018 ja 2019 aikana. Tässä työssä kiinnostus kohdistui varsinaisiin huoltotapahtumiin, moottoritekniisiin näkökulmiin sekä kaasun saantiin. Taulukkoon on kirjattu kaikki näihin viittaavien tapausten esiintymiset tältä ajalta tapauksissa, jolloin häiriöt ovat estäneet bussien käytön normaalilla liikennöintivuorollaan.

Huoltotiedot sisältävät myös suuren määrän tämän työn kannalta tarpeettomia vikatapauksia sekä muita bussien liikenteestä poissaolon aiheuttaneita tekijöitä. Näitä olivat muun muassa bussien oviin, jarrupaloihin sekä sisäkalusteisiin liittyvät viat ja näiden korjaukset, jotka kattoivat molempina vuosina yhteensä lähes puolet kaikista liikennöintivuorojen peruutuksista. Taulukot on kokonaisuudessaan esitetty liitteissä 1 ja 2.

Taulukko 11. Biokaasubussien liikennöinnin estäneiden huolto-, polttoaine- sekä vikatapauksen yhteenvedo vuosilta 2018 (a) sekä 2019 (b).

(a)	Biokaasubussien liikennöinnin estäneitä tapauksia vuonna 2018												
Ajoneuvo	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	
Huolto	2	2	2	2	3	3	3	4	3	4	3	3	34
Ei kaasua		1	1		2			2				1	7
Käyntihäiriö		2											2
EGR-venttiili		2	1	1		1	1				1		7
Turbon imuputki					1								1
Kaasun ohjausyksikkö						1						1	2
													53
(b)	Biokaasubussien liikennöinnin estäneitä tapauksia vuonna 2019												
Ajoneuvo	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	
Huolto	4	4	5	3	6	4	3	4	4	3	5	4	49
Ei kaasua													0
Käyntihäiriö					3			3				1	7
EGR-venttiili			1		1								2
Turbon imuputki	1						1					1	3
Öljynpainevaroitin								1					1
													62

Taulukosta havaitaan, että varsinaisten huoltojen jälkeen eniten biokaasubusseja poissa liikenteestä ovat pitäneet moottorin toimintaan liittyvien komponenttien ja järjestelmien viat. Yksittäisiä vikoja on esiintynyt kaasun ohjausyksikössä, turbon imuputkessa, moottorin sytytykseen liittyvissä komponenteissa sekä pakokaasun takaisinkierätyksen venttiilissä (EGR, Exhaust Gas Recirculation).

Kahden vuoden tarkastelujakson aikana ainoastaan kaksi bussia on selvinnyt kohtamatta ainuttakaan moottorin järjestelmiin liittyvää häiriötä. Vuonna 2018 kahdeksan (8) eri bussia ja vuonna 2019 kuusi (6) bussia kohtasi ainakin jonkinlaisen vian. Suurimmassa osassa tapauksia esiintyneet viat ovat kuitenkin olleet vain yksittäisiä toimintahäiriöitä, ja ne on voitu nopeasti selvittää. Vuonna 2018 myös kaasun saantiin liittyvät ongelmat ovat haittasivat bussien liikennöintiä.

Taulukosta havaitaan, että vuosien 2018 ja 2019 välillä on merkittävä ero varsinaisten huoltokertojen lukumäärissä. Huoltotietojen perusteella ei kuitenkaan ole oletettavissa, että kaasubussien varsinainen huollon tarve olisi kasvanut, vaan ero yksittäisten kalenterivuosien välillä johtuu huoltojen hajauttamisesta. Koska kyseessä on suuri määrä ajoneuvoja, huoltojen liikennöintiin aiheuttamien vaikutusten minimoimiseksi ajoneuvojen huollot suoritetaan hajautetusti ja hieman eri tahdissa toisiinsa nähden. Kaasubussien huoltovälejä tarkasteltaessa todettiin, että kahden vuoden jaksolla biokaasubussien huoltovälit olivat keskimäärin tasaiset. Huoltokertojen lukumääriin vaikuttaa myös se, että bussit on otettu käyttöön jo lähes vuotta ennen tarkastelujakson alkamista, ja osaa busseista on voitu huoltaa juuri ennen tämän alkua.

Vaasan biokaasukäyttöisten kaupunkibussien huoltotiedoista ilmenee kattavasti eri kaluston kohtaamia vikoja ja rikkoutumisia, jotka ovat johtaneet liikennöinnin estymiseen. Varsinaisia syitä ei ole kuvattu johtuen huoltodatan alkuperäisestä käyttötarkoituksesta. Annettujen tietojen perusteella saatiin kuitenkin hyvä kuva biokaasukäyttöisen raskaan kaluston kohtaamien vikojen kirjosta. Työssä arvoidaan seuraavaksi eri moottorin toimintaan liittyvien järjestelmien vikoja sekä näiden merkityksiä ja mahdollisia syitä.

Moottorin toimintahäiriöt

Vuosina 2018 ja 2019 moottorin käynti- tai toimintahäiriöitä on esiintynyt yhteensä neljässä eri biokaasukäyttöisessä bussissa. Vuoden 2018 aikana vikoja oli ainoastaan yhdessä ajoneuvossa, mutta seuraavana vuonna vikaa todettiin kolmessa muussakin. Myös vikojen laajuus kasvoi, ja kahden ajoneuvon tapauksessa moottorin toimintahäiriöt estivät bussin liikennöinnin yhteensä kolmesti.

Moottorin toiminta- tai käyntihäiriön ilmetessä sylinterin palamistapahtuma on häiriintynyt eikä polttoaine pala suunnitellun mukaisesti. Tällöin saattaa esiintyä esimerkiksi syttymisongelmia, nakutusta ja epätäydellistä palamista. Käyntihäiriötä aiheuttavia syitä on monia, ja ne voivat liittyä polttoaineen tai ilman määrän säätelyyn, sylinterin tiiveyteen tai sytytyksen kipinän tai ajoituksen häiriöihin. Todennäköisimmät aiheuttajat ovat kuitenkin varsinaisessa sytytysjärjestelmässä, eli sytytystulpissa tai puolissa, jotka ovat tulleet elinkaarensa päähän tai yllättäen rikkoutuneet. Muita mahdollisia tekijöitä ovat muun muassa venttiilikoneiston kannen tiivistyksen pettäminen tai moottorin ohjausjärjestelmän häiriö.

Osaa moottorin toimintahäiriöistä oli vuoden 2019 tapauksissa alun perin kuvattu eri nimikkeillä, joita olivat tietyn sylinterin kannentiivisteiden tai puolien ja sytytystulppien vaihdot. Nämä huoltomaininnat esiintyivät kuitenkin samoilla ajoneuvoilla, joilla moottorin toimintahäiriöitä oli kirjattu ja usein myös juuri toimintahäiriöiden kirjausten yhteydessä. Esimerkiksi ajoneuvolle A5 merkitty sylinterikannen tiivisteiden vaihto on todennäköisemmin suoritettu osana moottorin toimintahäiriön korjausta, sillä tästä toimenpiteestä seuranneet kolme huolto- ja korjausmerkintää ovat olleet sekä puolien että sytytystulppien vaihtoja. Kannentiiviste on vaihdettu sylinterissä numero viisi, ja kaksi tästä seurannutta toimenpidettä ovat olleet niin ikään sylinterin 5 puolan vaihtoja. Osa näistä huoltosuoritteista oli myös kategorioitu alkuperäisissä huoltotiedoissa suoraan moottorin toimintahäiriöiksi, joten nämä suoritukset on tämän työn arvioinnissa luettu kokonaisuudessaan osaksi käyntihäiriöitä.

Vaikka huoltotiedoista ei ilmene biokaasubussien huoltojen sisältöjä, ovat sytytystulppien vaihdot mitä todennäköisimmin oleellinen osa linja-autojen huoltosuunnitelmia. Käyntihäiriöiden välttämiseksi sekä sytytystulppien että puolien vaihtoja tulisikin tehdä säännöllisesti erityisesti, kun ajoneuvojen huoltohistoria pitää sisällään useita käyntihäiriöön viittaavia tapauksia. Tämä helpottaa myös muiden mahdollisten häiriöitä aiheuttavien tekijöiden vianmäärittäystä.

EGR-venttiili

EGR-venttiilin häiriöt ovat olleet biokaasubussien moottorin järjestelmiin liittyvistä vikatekijöistä yhtä yleisiä kuin moottorin toimintahäiriöt. Pakokaasun takaisinkierätykseen liittyviä toimintahäiriöitä on esiintynyt ensimmäisen tarkasteluvuoden aikana puolessa biokaasubusseista, kun muita vikoja on esiintynyt tuona vuonna korkeintaan kahdessa eri autossa. Vuoden 2019 aikana biokaasubussin poissaolon liikenteestä aiheuttaneita EGR-venttiiliin liittyviä kirjauksia oli kuitenkin vain kahden bussin tapauksessa, eikä tähän liittyviä vikoja ollut huoltomerkinnöissä mainittu myöskään oheisvioletiksi.

Pakokaasun takaisinkierätysventtiilin komponentit ovat termisesti hyvin kuormittuneita, sillä kierrätettävä pakokaasu on hyvin kuumaa ennen EGR-jäähdytintä. Kahdessa EGR-venttiilin vikamerkinnän tapauksessa on kirjattu korjaustoimenpiteeksi *EGR-venttiilin hitsaus*, joten häiriöt ovat ainakin muutamassa tapauksista olleet venttiilien jonkin asteisia halkeamisia.

Kaasumaisten polttoaineiden pakokaasu sisältää nestemäisiin verrattuna hyvin vähän hiukkasia ja muodostavat vähän karstaa, mutta EGR-venttiiliin liittyviä ongelmia ovat erityisesti nestemäisillä polttoaineilla esiintyvät tukkeutumiset näiden täyttyessä ajan mittaan pakokaasujen sisältämästä tuhkasta ja karstasta. Tukkeutuminen saattaa myös aiheuttaa venttiilin halkeamisen. Venttiiliä ohjaavien sähköisten tai mekaanisten komponenttien vikaantumiset ovat niin ikään mahdollisia, jolloin venttiilit eivät esimerkiksi päästä pakokaasuja kulkemaan lävitseen normaaliin tapaan.

Muutamassa tapauksessa EGR-venttiilin vikoja on esiintynyt toistamiseen samojen ajoneuvojen kohdalla. Huoltotiedoista ei kuitenkaan ilmene, ovatko mahdolliset korjaavat toimenpiteet pettäneet vai onko mahdollisesti kokonaan uusittu komponentti jälleen vikaantunut. EGR-venttiilin häiriöt ovat kuitenkin olleet yleisiä, joten on mahdollista, että valmistajan muissakin moottoreissa on esiintynyt vastaavia ongelmia. Tällaisissa tapauksissa ongelmat ovat varmasti myös valmistajan tiedossa, jolloin ongelma-kohtiin paneudutaan tuotekehityksen yhteydessä ja vikatekijät pyritään korjaamaan pois.

Turbon imuputki

Turboahtimen imuputkeen liittyviä ongelmia on esiintynyt vuonna 2018 ainoastaan yhdessä kaasubussissa, mutta vuoden 2019 puolella merkintöjä on ollut jo kolmessa eri ajoneuvossa. Näiden lisäksi myös kahdessa muussa ajoneuvossa on muiden toimenpiteiden yhteydessä mainittu imuilmaputkeen liittyvästä viasta, mutta nämä eivät itsessään ole johtaneet kaluston liikennöinnin estymiseen.

Erään huoltomerkinnän mukaan turbon imuputken on huomattu huollossa olevan halki. Putken voidaan olettaa joissain määrin haljenneen tai revenneen myös muissa tapauksissa, sillä varsinaiseen imuilmaputkeen kulkeutuu ainoastaan epäpuhtauksista suodatettua ilmaa. Huoltotiedoissa ei kuitenkaan ole tarkennettu, onko kyseessä oleva vioittunut putki ennen turboahtimen kompressoria vai tämän jälkeen.

Vaikkakin tapauksista kirjatut merkinnät viittaisivat ennemmin turboahtimen kompressoriin tulevaan matalan paineen putkeen, on mahdollista, että halkeamiset esiintyvät kompressorin painepuolella. Tällöin putken halkeamiseen saattaa johtaa heikkolaatuinen, esimerkiksi huokoinen valmistusmateriaali, joka ahtopaineiden vaikutuksesta halkeaa tai repeää.

Kaasun saantiin liittyvät ongelmat

Kaasun puutetta on esiintynyt ainoastaan vuoden 2018 aikana, jolloin vaikutukset ajovuoroihin ovat seitsemän tapauksen kohdalla johtaneet yhteensä 11 ajovuoron menetykseen. Tyypillisesti kaasun puutetta onkin esiintynyt useampia tapauksia pienen ajan sisällä, jolloin vaikutus on kohdistunut muutamina tapauksina joko yhdelle tai useammalle ajoneuville. Polttoaineen tankkausongelmat ovat kuitenkin olleet pitkälti yksittäisiä, eivätkä esiintyneet tapaukset ole vaikuttaneet koko kaluston liikennöintiin.

Biokaasubussien huoltotiedot tarjonneen Vaasan kaupungin liikennesuunnittelupäällikkö Pertti Hällilän kanssa käydystä sähköpostikeskustelusta (2.11.2020) ilmenee, että vaikka polttoaineen saanti on paikoin estänyt bussien käytön liikenteessä, ei biokaasun tuotannossa olisi esiintynyt tämän aiheuttanutta vajetta. Sen sijaan tankkausvarikon

automaatiikassa on ollut erityisesti käyttöönoton alkuvaiheessa ajoittaisia ongelmia, jotka ovat vaikuttaneet bussien liikennöintiin. Ongelmia on esiintynyt eniten alkuvuodesta 2017, jolloin tankkausvarikko sekä bussit on otettu käyttöön. Tällöin biometaania tuottavan Stormossenin sekä muiden kaasun jakeluun liittyvien yhtiöiden tietojärjestelmät on muokattu toimimaan yhdessä ja erilaisia häiriöitä on paikoin esiintynyt. Varsinaiset tankkausaseman häiriöt sen sijaan ovat Hällilän mukaan olleet automaattiventtiileissä, jotka kytkevät bussivarikon yhteydessä olevan LNG-polttoaineen varmuusvaraston tankkausputkistoon. LNG:tä käytetään varapolttoaineena ajoittain erilaisten ylläpitävien huoltosten aikana, jotta kaasuaajoneuvojen liikennöinti ei häiriinny.

Vuonna 2019 polttoainekaasun saanti on ollut taattua, eikä ajovuoroja ole jouduttu korvaamaan vaihtoehtoisella kalustolla. Vuonna 2018 enimmäkseen prosessiautomaatiikan häiriöistä johtuneet ja bussien liikennöintiin vaikuttaneet kaasun tankkausongelmat on siis saatu hallintaan. Tästä on myös pääteltävissä, että bussien tankkausvarikon oheen liitetty LNG-varapolttoainesäiliö on toiminut suunnitellusti esimerkiksi biokaasujärjestelmien huoltotoimenpiteiden aikana.

4.5.2 Kaasukäyttöiset jätekeräysautot

Myös Remeon biokaasukäyttöisten jätekeräysautojen huoltotiedot sisältävät kaluston viikoihin tai rikkoutumisiin viittaavia merkintöjä. Varsinaisten huoltojen ulkopuoliset toimenpiteet erottuvat komponenttien vikoina tai rikkoutumisina siten, että näiden kirjaukset huoltotiedoissa usein sisältävät eri tarkastus- ja testaustoimenpiteitä sekä jonkin komponentin vaihto- tai huoltotyön. Osa tapauksista on vaatinut jopa ajoneuvon hinnausta tai mekaanikon käynnin rikkoutumispaikalla.

Jätekeräyskaluston viat ja rikkoutumiset

Kaluston komponentteihin liittyviä rikkoutumisia arvioitiin varsinaisten huoltojen ulkopuolella tapahtuneiden yksittäisten korjaussuoritteiden pohjalta. Taulukkoon 12 on kirjattu biokaasukäyttöisen kaluston huoltotiedoissa esiintyneet poikkeustapaukset, jotka ovat luettavissa kaluston joidenkin komponenttien toimintahäiriöinä tai rikkoutumisina.

Taulukkoon on kirjattu ainoastaan vikatapauksen todellinen syy, mutta usein huoltotiedoissa näiden ohien on kirjattu myös muita tarkastus- tai huoltotoita.

Taulukko 12. Biokaasukäyttöisen jätekeräyskaluston huoltotapahtumien ulkopuolisia huolto- ja korjausmerkintöjä.

Ajoneuvo	Päivämäärä	Ajomäärä	Korjaussuorite
B1	28.1.2019	33008	Johtosarjatarkastus
	5.2.2020	68431	Jäähdytysjärjestelmän tasoanturin vaihto
	21.4.2020	75343	Elektronisen tasonsäädön liikematkatunnistimen vaihto
	20.5.2020	77355	Pakokaasun jälkikäsittely-yksikön sekä pakoputken vaihto
B2	24.7.2020	76683	Jäähdytysjärjestelmän tasoanturin vaihto
	13.8.2020	77559	Johtosarjatarkastus
	23.9.2020	76718	Automaattivaihteiston johtosarjan kunnostus
	8.10.2020	80888	Käsivaihteiston toiminnan tarkastus
B3	30.4.2020	37948	Venttiilikoneiston kannen tiivisteen vaihto
B4	9.3.2020	36374	Venttiilikoneiston kannen tiivisteen vaihto

Kaiken kaikkiaan keräysautot ovat kohdanneet hyvin vähän erilaisia rikkoutumisia. Suurin osa taulukossa 12 esitetyistä poikkeustapauksista kertoo suoraan vioittuneen komponentin. Huoltotiedoista on myös useimmiten luettavissa vian ilmeneminen. Esimerkiksi venttiilikoneiston kannen tiivisteen vaihdolla on korjattu moottorin öljyvuoto kahden ajoneuvon tapauksessa ja pakoputken sekä pakokaasun jälkikäsittely-yksikön vial on havaittu ajoneuvosta kuuluneiden häiriöäänien ansiosta.

Sähköisten järjestelmien häiriöitä sen sijaan ei ole tarkasti kuvailtu. Moni tapauksista on kuitenkin sisältänyt mekaanikon tekemän pikatestin tai johtosarjatarkastuksen, jolla mahdollinen vikatilanne on paikannettu tai korjattu. Osa sähköisten järjestelmien tapauksista on korjattu ajoneuvon anturin tai tunnistimen vaihtamisella.

Jätekeräyskalusto on kohdannut myös hinausta vaatineita rikkoutumisia, joita on sattunut neljälle ajoneuvolle. Yhteensä tapauksia on kahdeksan, ja niistä valtaosa on

aiheutunut samojen voimansiirtokomponenttien rikkoutumisista: kaksi kertaa moniurahihnan ja neljä kertaa nivelakselin hajoamisesta. Lisäksi yhdessä tapauksessa moottorijarrun magneettiventtiilin vikaantuminen on vaatinut ajoneuvon hinauksen, ja eräässä tapauksessa hinausmerkinnän yhteyteen ei ole kirjattu lainkaan syytä.

Kaikki esiintyneet vika- tai rikkoutumistapaukset ovat aiheutuneet kalustolle usean kymmenen tuhannen ajokilometrin jälkeen. Hinausta vaatineista tapauksista ei ole havaittavissa varsinaisia käytettyyn kaasumaiseen polttoaineeseen tai moottoriin liittyviä häiriöitä, vaan viat ovat pääasiassa voimansiirtoon liittyvien mekaanisten komponenttien kulumisesta aiheutuvia rikkoutumisia. Moniurahihna on poikkeus, sillä se ohjaa suurta osaa moottorin ja ajoneuvon apulaitteistosta.

Jätekeräyskaluston öljynkulutushäiriöt

Keräysautojen huoltotiedoista nousee kuitenkin kolmen vanhimman ajoneuvon tapauksessa esiin moottorin voiteluöljyjärjestelmään liittyvä häiriö, jonka huoltotehtäväksi merkitty kuvaus on *moottorin öljymäärän korjaus oikeaksi*. Kyseessä on todennäköisesti öljyn kulutukseen liittyvä häiriö, sillä öljyä on jokaisen merkinnän kohdalla myös lisätty. Huoltokirjauksissa on myös yksittäisiä merkintöjä, joissa on mainittu ainoastaan moottoriöljyn laatu. Koska nämä merkinnät esiintyvät öljymäärän häiriöiden ohella, on todennäköistä, että myös nämä öljynlisäystä koskevat merkinnät johtuvat samasta häiriöstä. Öljymäärän korjaamiseen liittyvää toimenpidettä ei juurikaan ole enää vuoden 2020 puolella merkitty, vaan suoritetta on kirjattu pääosin ajoneuvojen ensimmäisen käyttövuoden aikana paikoin hyvinkin tiheästi.

Eniten merkintöjä öljymäärän korjauksesta sekä öljyn lisäyksestä on ajoneuvolla B1, jolla vuoden 2018 aikana merkintöjä on kirjattu yhteensä yhdeksän. Ensimmäinen merkintä on kirjattu, kun ajoneuvolla on ajettu noin 3900 kilometriä. Tämän merkinnän jälkeen öljymäärään liittyviä tehtäviä on kirjattu vaihtelevasti, mutta keskimäärin noin 3500 kilometrin tai alle kahden kuukauden välein. Pienin ajettu matka näiden merkintöjen välillä on ollut ainoastaan 287 kilometriä, jolloin öljymäärää on vuoden 2019 alussa korjattu 15 vuorokauden erolla. Merkintöjen määrä vuonna 2019 on kääntynyt laskuun, ja

tältä vuodelta moottoriöljyn määrän korjaukseen liittyviä merkintöjä on enää kuusi. Vuoden 2020 syksyyn mennessä merkintöjä on ainoastaan yksi, eli ongelmaan on oletettavasti löydetty ratkaisu.

Ajoneuvoilla B2 sekä B3 samainen ongelma on esiintynyt edellistä hieman harvemmin. B2-keräysauton kohdalla ongelma on kuitenkin ilmennyt vasta ensimmäisen käyttövuoden loppupuolella, kun ajoneuvolla oli ajettu jo yli 24000 kilometriä. Tämän jälkeen ongelman esiintyvyys on kuitenkin ollut samalla tasolla kuin ajoneuvolla B1 tämän ensimmäisenä käyttövuotena, eli noin yhden ja kahden kuukauden välein. Ongelman esiintyminen on harventunut, mutta tapauksia on vuonna 2020 vuoden syksyyn mennessä ollut kolme. Näiden tapausten välillä ajoa on kertynyt noin 8300 ja 5700 kilometriä.

Vuoden 2018 lopussa käyttöönotetulla ajoneuvolla B3 kirjattuja tapauksia on viisi, ja ne kaikki ovat esiintyneet vuoden 2019 aikana, muutama kuukausi auton käyttöönoton jälkeen. Tapausten toistuvuus on noudattanut ajomäärältään pääosin samaa kaavaa kuin muidenkin ongelmaa kohdanneiden ajoneuvojen.

Moottorin voiteluöljyn kulumisen vakavuudesta oli huoltotietojen perusteella vaikea tehdä arvioita, sillä ongelman esiintyminen vaihtelee ajoneuvokohtaisestikin paljon. Vaikka ongelma on pääosin kirjattu muutamien tuhansien ajokilometrien välein, niiden ohessa esiintyy tapauksia, jolloin ongelman esiintyvyyden välillä on lähes kymmenentuhatta kilometriä. On mahdollista, että keräysautojen kuljettajat ovat paikoin itse lisäilleet ajoneuvoihin öljyä tarvittaessa, kun öljyn määrä on laskenut. Huoltomerkinnöistä ei myöskään löydy lainkaan vian korjaamiseen yhdistettäviä toimenpiteitä.

Tapaukset ovat kuitenkin selvästi vähentyneet vuoden 2020 syksyyn mennessä, eli ongelmiin on mitä todennäköisemmin löydetty ratkaisu. Koska ajoneuvojen huoltotapah- tumista ei ilmene vian korjaamiseksi yhdistettävissä olevia tapahtumia, on myös mahdollista, että ongelmaa kohdanneet ajoneuvot on käytön myötä saatu sisäänajettua ja komponentit ovat hioutuneet kohdilleen. Ongelmaa ei myöskään ole todettu kahdessa uusimmassa ajoneuvossa, kun niillä on ajettu yli 39000 sekä 47000 kilometriä. Öljynkulutusongelman ei kaiken kaikkiaan kuitenkaan ole havaittu vaikuttaneen ajoneuvojen varsinaisiin öljynvaihtoväleihin.

4.6 Huolto- sekä korjaustoimien arviointi

Tässä alaluvussa arvioidaan vielä kootusti biokaasukäyttöisten jätekeräysautojen ja bus-sien huolto- ja korjaustoimia. Jätekeräysautojen huoltotietojen pohjalta ei havaittu, että kaasumainen polttoaine lisäisi ajoneuvojen huollon tarvetta tai toisi huoltoihin huomattavasti uusia toimenpiteitä. Ajoneuvojen huoltohistoriaa tarkasteltaessa havaittiin, että kaasujärjestelmän tuomat huoltotarpeet liittyivät lähinnä kaasujärjestelmän tyhjentämiseen sekä sulkemiseen ennen huollon aloittamista. Itse kaasujärjestelmään liittyvät toimenpiteet olivat harvoin suoritettuja kaasusuodattimen vaihtoja. Viiden ajoneuvon huoltohistoria koostuikin lähes täysin tavanomaisista toimenpiteistä, joita suoritetaan vastaavaan tapaan myös perinteisten polttoaineiden ajoneuvoille. Eri käyttökohteiden ajoneuvojen huoltotietojen perusteella havaittiin, että huollon tarpeen sekä huoltovälit määräävät ensisijaisesti kaluston suunniteltu käyttökohde sekä käyttökuormitus, mikä pätee niin ikään myös perinteisten polttoaineiden kalustoihin.

Biometaanin polttoainekäytön ei havaittu vaikuttavan huoltoväleihin, sillä ajoneuvojen huoltotarpeet eivät eronneet perinteisistä ajoneuvoista. Biometaani on erittäin puhdas polttoaine, jossa on hyvin vähän haitallisia aineita. Tämän pohjalta ei nähdä viitteitä siitä, että käytetty kaasumainen polttoaine vaikuttaisi komponenttien kulumiseen perinteisiä polttoaineita enemmän ja näin lisäisi ajoneuvojen huollon tarvetta. On kuitenkin mahdollista, että biokaasun käyttö voi paikoin aiheuttaa yllättäviäkin häiriötapauksia tai rikkoutumisia, jos moottorissa hyödynnetään perinteisille polttoaineille optimoituja komponentteja. Kaasukäyttöiset raskaat ajoneuvot ovat yhä melko uusia markkinoilla ja niitä kehitetään jatkuvasti, joten näiden voidaan olettaa olevan jo lähitulevaisuudessa entistä tarkemmin optimoituja juuri biokaasukäyttöön.

Biokaasukaluston kestävyys arvioinnissa paneuduttiin ensisijaisesti biokaasukäyttöisten lähiliikennebussien huoltotietoihin. Kun biokaasubussien huoltoja ja vikatapauksia tarkasteltiin kahden kalenterivuoden ajanjaksolta, havaittiin, että molemmat tarkasteluvuodet olivat melko samanlaisia merkinnöiltään ja lukumääriltään. Liikennöintiin vaikuttaneita ongelmia aiheuttivat erityisesti EGR-venttiilien häiriöt, imuilmaputket sekä sytytykseen liittyvät ongelmat.

Verrattaessa biokaasubussien vika- ja rikkoutumistapauksia jätekeräysautojen tietoihin havaittiin, ettei keräysautojen kohdalla esiintynyt moottoriteknisestä näkökulmasta vakavia tai toistuvia komponenttien rikkoutumisia, vaan viat olivat pahimmillaan öljyvuoja tai pakokaasujen käsittelyjärjestelmän häiriöitä. Varsinaisia vikoja oli kauttaaltaan melko vähän, eikä niissä esiintynyt toistuvuutta.

Valmistajien väliset erot on vikatapauksia arvioitaessa otettava huomioon, sillä eri valmistajien kalustot voivat erota moottoriteknisten ratkaisujen sekä käytettyjen komponenttien osalta suuresti. Näin ollen yhden valmistajan kalustossa esiintyviä mahdollisia toistuvia vikoja ei voida yhdistää suoraan muiden valmistajien ajoneuvoihin. Biokaasubussien tapauksessa häiriöitä aiheuttaneet komponentit olivat täysin samoja kuin perinteisilläkin polttoaineilla toimivassa kalustossa, eikä varsinaisen biokaasupolttoaineen käyttöön yhdistettäviä seikkoja ollut vikamerkintöjen pohjalta havaittavissa.

Vikoja aiheuttaneiden komponenttien huoltosuunnitelmiin tai vaihtoväleihin ei kaasubussien tapauksessa voida ottaa kantaa, sillä käsiteltävät huoltotiedot eivät pitäneet sisällään varsinaisten kalustoa ylläpitävien huoltojen toimenpiteitä. Kaluston yleisiä vikatapauksia voidaan kuitenkin ehkäistä lisäämällä usein oirehtivien komponenttien seurantaa huoltojen yhteydessä tai tihentämällä näiden vaihto- tai huoltovälejä. Keräysautojen tapauksessa taas erilaisten vikojen ilmeneminen on saatu minimoitua, eli kaluston huoltosuunnitelmien ja huoltojen suorittamisten voidaan todeta toimivan kuten kuuluukin.

Keräyskalustolla on kuitenkin ajettu yhteensä selvästi vähemmän verrattuna kaasubussikalustoon, jonka kokonaisajomäärä kattoi lähes kaksi ja puoli miljoonaa ajokilometriä, kun taas keräysautojen yhteensä ajama matka oli noin 300 000 kilometriä. Biokaasubussien vikatapauksien suurempi määrä lienee seurausta suuremmasta käyttömäärästä, mutta valmistajien käyttämän tekniikan väliset erot voivat myös vaikuttaa.

Biokaasukäyttöisten raskaan kaluston ajoneuvojen huoltohistorioiden pohjalta voidaan todeta, ettei biometaanin käyttö polttoaineena lisää ajoneuvon huollon tarvetta. Ajoneuvojen vika- ja rikkoutumistapauksia tarkasteltaessa ei havaittu tekijöitä, jotka yhdistäisivät kaluston rikkoutumistapaukset käytettyyn polttoaineeseen. Biokaasukäyttöiset raskaan kaluston ajoneuvot voidaan siis saatujen tulosten pohjalta todeta kestäviksi ja luotettaviksi sekä huollon tarpeeltaan perinteisiä ajoneuvoja vastaaviksi ajoneuvoiksi.

5 Raskaan biokaasukaluston käyttäjien kokemukset

Selvitystyön tavoitteisiin sisältyi myös biokaasulla operoivien raskaan kaluston kuljettajien käyttäjäkokemusten kerääminen. Käyttäjäkokemusten tarkoituksena on nostaa esiin kuljettajien arkipäiväisiä toimenpiteitä sekä kuvata raskaan biokaasukaluston käytettävyyttä ruohonjuuritasolla. Kuljettajilta kerättiin käyttäjäkokemuksia liittyen muun muassa kaluston käyttötuntumaan, kehitystarpeisiin sekä kaasumaisen polttoaineen tuomiin muutoksiin.

Kokemuksia kerättiin Niemi Palvelut Oy:n kuljettajilta yrityksen liiketoimintapäällikkö Ville Häyrysen avustuksella. Niemi Palvelut on Suomen johtava muutto- ja logistiikka-alan palveluyritys, joka tarjoaa koti-, yritys- ja ulkomaanmuuttoja sekä tapahtuma-, logistiikka-, kierrätys- ja varastointipalveluita. Yrityksen kalustosta 100 % käy uusiutuvilla polttoaineilla, ja noin 25 % on biokaasukäyttöisiä (Niemi Palvelut Oy, 2020). Kuvassa 3 Scanian valmistama yrityksen käyttämä biokaasukäyttöinen muuttoauto.



Kuva 3. Niemi Palvelut Oy:n biokaasukäyttöinen muuttoauto (Scania, 2020).

Niemen kuljettajilta kerättiin käyttäjäkokemuksia Google Forms -verkkoalustan avulla, ja palveluun oli kirjattu kuljettajille 16 kysymystä. Kuljettajille osoitetut kysymykset liittyivät

pitkälti heidän arkipäiväisiin kokemuksiinsa biokaasukalustolla operoimisesta, kuten kaluston ajotuntumaan, käyttömukavuuteen, tankkaamiseen, toimintasäteeseen sekä mahdollisesti esiin tulleisiin epäkohtiin. Jokaiseen kysymykseen ei vaadittu vastauksia ja vastauskenttä asetettiin rajoittamattomaksi, joten kuljettajat saivat vastata haluamiinsa kysymyksiin tahtomallaan tavalla. Lista kysymyksistä sekä saaduista vastauksista on esitetty liitteessä 3.

Kuljettajien käyttäjäkokemuksiin saatiin kaksi vastausta. Vastaukset olivat kattavia ja hyvin kirjoitettuja, ja ne tuottivat työn tavoitteita edistäviä näkökulmia biokaasukäytöstä raskaasta kalustosta. Saadut vastaukset olivat pitkälti kaasupolttoainetta tukevia ja niissä tuotiin hyvin esiin myös parannusehdotuksia. Vastanneilla kuljettajilla oli kokemusta biokaasulla toimimisesta noin vuodesta kahteen vuoteen, eli kalusto oli tullut vastaajille jo tutuksi.

5.1 Biokaasukaluston tankkaus sekä toimintamatka

Perinteisestä poikkeava tankkausrutiini on kuljettajien keskuudessa koettu helpommaksi kuin perinteisillä polttoaineilla, ja erityisesti tankkauksen siisteys ja ylitäyttöriskeiden puuttuminen ovat lisänneet käyttömukavuutta. Biokaasun tankkaamiseen raskaan kaluston näkökulmasta liittyy kuitenkin vielä parannettavaa erityisesti tankkausasemilla, sillä kaasuasemat on suunniteltu henkilöautojen tarpeisiin. Tällöin kaasuasemilta saatu tankkauspaine ei ole kaikkina kellonaikoina riittänyt kuorma-auton tarpeisiin, vaan tankki on jäänyt vajaaksi, jolloin ajoneuvo on mahdollisesti pitänyt ajaa kauemmas toiselle asemalle. Tämä sai osakseen kritiikkiä, sillä tarve vaihtaa tankkausasemaa lisää suuresti biokaasukaluston tankkaukseen kuluva aika. Biokaasukaluston tankkaamiseen kuluu enemmän aikaa myös sen vuoksi, että dieselkäyttöiset ajoneuvot saadaan tankattua yrityksen omassa pihassa. Pääkaupunkiseudulla biokaasun tankkausasemat sijaitsevat kuitenkin lähellä yrityksen toimistoa.

Varsinainen biokaasun tankkaus on myös nestepolttoainetta pitkäkestoisempaa ja lähes tyhjän tankin täyteen tankkaamiseen kuluu arviolta 10–15 minuuttia, kun dieselkaluston

tapauksessa aika on noin viisi minuuttia. Biokaasun tankkaamisen mainitaan kuitenkin olevan pidemmästä kestosta huolimatta helpompaa, sillä kuluvan ajan voi käyttää muiden työasioiden ja esimerkiksi työpuhelimien hoitamiseen. Lisäksi tankkauksen ajan voi istua lämpimässä autossa tankkausaseman hoitaessa tankin täytön automaattisesti.

Toinen vastaajista toteaa myös polttoaineen kulutuksen olleen huomattavasti dieselkalustoa pienempää. Ajoneuvojen toimintaetäisyys yhdellä tankillisella on kuitenkin arviolta 300–400 kilometriä dieselaita lyhyempi. Yritys kuitenkin käyttää kaasukalustoa tois-
taiseksi ainoastaan lähiseutujen ajossa, joten lyhyempi kantama ei ole aiheuttanut ongelmia. Myöskään tankkausasemien määrä ei ole vaikeuttanut yrityksen toimintaa, sillä ajot hoidetaan pidemmillä, yli 200 kilometrin matkoilla dieselkalustoa käyttäen.

5.2 Biokaasukaluston käyttötuntuma

Käyttäjäkokeimuksissa tiedusteltiin myös kuljettajien ennakoajatuksia kaasukaluston käyttöönotosta. Kaasuajoneuvojen odotettiin olevan hiljaisia sekä ajo-ominaisuuksiltaan rauhallisia, ja nämä odotukset myös toteutuivat. Toinen vastaajista ei alun perin pitänyt kaasuautojen ajatuksesta, mutta toteaa ajoneuvojen olevan käytännössä varsin toimivia. Vastaajat mainitsevat sekä kaasu- että dieselajoneuvojen olevan hyviä ja viihtyvänsä molempien ajoneuvotyyppien ohjaamossa lähes yhtä hyvin. Toinen vastaajista totesi tankkaamisen helppouden ainoaksi ajoneuvojen eroksi.

Biokaasukäyttöisen kaluston ajotuntumassa ei kummankaan vastaajan mukaan ole juurikaan eroa verrattuna dieselkäyttöisiin ajoneuvoihin, mutta eri valmistajien kaasukalustoa yhdistää vaatimaton vääntömomentti. Puute mainitaan jopa kaasukaluston suurimmaksi ongelmaksi, ja esimerkiksi jyrkkien ylämäkien kohdalla dieselajoneuvojen paremmat nousuominaisuudet koetaan tärkeäksi. Toinen vastaajista mainitsee kaasuajoneuvojen kiihtyvyyden olevan keskimäärin dieselkäyttöisiä parempi, ja joissain ajoneuvoissa vaihteiston olevan erittäin nopea. Nopea vaihteisto ei vastaajan mukaan ole kuitenkaan esimerkiksi ahtaissa paikoissa ideaalinen.

Biokaasukalustosta usein esiin nostettava hiljainen käyntiääni ei käyttäjäkokemusten perusteella ole huomattavan erilainen verrattuna dieselkäyttöiseen kalustoon. Kaasukalusto mainitaan hieman hiljaisemmaksi, mutta ei merkittävällä tavalla. Toisen vastaajien mukaan käyntiäänessä on myös valmistajien välisiä eroja, ja Scanian valmistamat ajoneuvot mainitaan tässä yhteydessä sekä laadukkaammiksi että hiljaisemmiksi.

5.3 Biokaasukaluston kehitystarpeet

Käyttäjäkokemuksia kerättyäessä molemmat vastaajat toivat useassa kohdassa esiin valmistajien väliset kalustoerot. Yrityksen käyttämät raskaat biokaasujoneuvot ovat Volvon sekä Scanian valmistamia, ja näistä Scanian ajoneuvot saivat useassa kohdassa kuljettajien erityiset kehu. Scanian kaasukäyttöiset kuorma-autot mainitaan laadukkaammiksi, huomattavasti paremmiksi matka-ajossa sekä kaiken kaikkiaan erittäin hyviksi ja käyttökelpoisiksi kuorma-autoiksi, joissa monet ongelmakohdat on korjattu tai parannettu.

Volvon kaasukuorma-autojen mainittiin olevan parempia kaupunkiajossa, mutta nämä kuitenkin saivat enemmän mainintoja ongelmista ja kehitystarpeista. Toinen vastaaja nosti esiin Volvon valmistaman kaasukuorma-auton, jonka moottori jarruttaa voimakkaasti kaasupoljinta hellitettäessä tuloksenaan hyvin negatiivinen ajokokemus. Scanian kaasuautojen käyttämien vaihteistojen mainittiin muistuttavan enemmän dieselkuorma-autojen vaihteistoa. Volvojen ongelmiksi luettiin myös yleisesti esiintyvät moottorin jäähdytysnesteen ylikuumenemiset sekä kylmäkäytön yhteydessä esiintyvä joutokäynnin epätasaisuus, joka aiheuttaa paikoin epävarmuutta käytettävyyteen. Eri valmistajien kulkuneuvojen yhteisiksi ongelmakohdiksi mainitaan satunnaiset anturiviat.

Kumpikin kuljettaja toteaa tuntevansa kaasukäyttöisen kaluston turvallisesti sekä riskittömäksi kaiken toimiessa normaalisti, ja ainoaksi turvallisuushuoleksi toinen vastaajista mainitsee kaasusäiliöt mahdollisessa kylkitörmäystilanteessa. Kuljettajat myös sanovat kaasuautojen olevan parempia kuin he olivat ensin odottaneet, mutta tankkausasemien vähyys on vielä haittaava tekijä. Vastaajat myös toteavat, että voisivat tulevaisuudessa hankkia itselleen kaasukäyttöisen henkilöauton pienin varauksin. Tankkausasemien määrän lisäksi ajoneuvossa tulisi olla tarpeeksi vääntömomenttia ja tehoa.

6 Biokaasukäyttöisen raskaan liikenteen tulevaisuuden näkymät

Tämän luvun tarkoitus on syventää tietoutta biokaasun mahdollisuuksista sekä alan kehityksestä lähitulevaisuudessa. Nykyinen tilanne ei vielä mahdollista laajaa biokaasukäyttöistä raskasta liikennettä Suomessa, vaan erityisesti liikennesektori vaatii yhä muun muassa jakelu- ja tankkausinfrastruktuurin kehitystä, tuotantomäärien kasvattamista sekä kysynnän lisääntymistä.

Tämä osio kuvaa biokaasualan nykytilaa, alan haasteita sekä kehittämisen kannalta tärkeimpiä toimia ja näiden vaikutuksia. Osion tarkoitus on antaa tulevaisuuden raskaan liikenteen toimijoille kuva siitä, miltä biokaasu osana raskaan liikenteen tulevaisuutta näyttää sekä hahmottaa tämän saavuttamisen vaatimia tärkeimpiä kehitystoimia. Työssä esitetään biokaasun teknillistaloudellinen potentiaali ja tämän mahdollistamat ajoneuvomäärät Suomessa. Lisäksi käydään läpi alan nykyisiä kehitystä hidastavia tekijöitä sekä näihin ehdotettuja ratkaisukeinoja ja aktiivisia toteuttamissuunnitelmia. Näiden pohjalta arvioidaan biokaasukäyttöisen raskaan liikenteen tulevaisuuden näkymiä.

Biokaasuala on viime vuosina voimakkaasti laajentunut, ja ala on saanut valtakunnallisesti paljon huomiota. Merkittävin saavutus on nykyiseen hallitusohjelmaan sisällytetty kansallinen biokaasuohjelma, jonka valmisteluun koottu työryhmä selvittää keinoja lisätä biokaasun tuotantoa ja käyttöä sekä purkaa esteitä kaasunkäytön tieltä. Työ- ja elinkeinoministeriö julkaisi loppuvuonna 2020 työryhmän loppuraportin, ja ohjelmassa esitettyjen toimenpiteiden työstäminen on jo aloitettu muun muassa biokaasualaa palvelevien lakien kehittämisellä.

Biokaasuohjelman tavoitteena on saattaa biokaasun tuotantopotentiaali käyttöön sekä kehittää Suomen elinvoimaisuutta ja edistää ilmastotavoitteisiin pääsyä. Työryhmän tehtävänä oli kuvata biokaasualan nykytila ja merkittävimmät alan kohtaamat esteet ja hidasteet sekä ehdottaa tarvittavat toimenpiteet näiden ratkaisemiseksi. (Työ- ja elinkeinoministeriö ja muut, 2020a, s. 3.) Tässä luvussa viitataan ensisijaisesti tähän biokaasuohjelmaa valmistelevan työryhmän loppuraporttiin, jossa alaa ja sen tulevaisuutta on

käsitelty laajalla otannalla nykytilanteen pohjalta. Työryhmän loppuraporttiin sisältyi myös erillinen toimenpidesuunnitelma, joka kuvaa käynnissä olevien toimenpiteiden edistymistä. Raskaan liikenteen biokaasukäytön tulevaisuuden näkymiä arvioidessa tehdään tämän toimenpideseurannan avulla katsaus myös jo aloitettuihin työryhmän ajamiin toimenpiteisiin.

6.1 Biokaasun liikennekäytön potentiaali Suomessa

Biokaasualalla Suomessa on erittäin suuri kasvupotentiaali sekä määrällisesti että laadullisesti (Lampinen, 2015, s. 191). Monet eri tahot ovat tehneet arvioita Suomen biokaasutuotannon potentiaalista, ja useissa näistä on todettu Suomen teknillistaloudelliseksi potentiaaliksi noin 10 TWh vuosittainen energiamäärä. On arvioitu, että tästä kokonaismäärästä vuonna 2030 noin neljännes ja vuonna 2045 kaikki tuotettu biokaasu voitaisiin jalostaa liikennekäyttöön. (Andersson ja muut, 2020, s. 25)

Näitä energiamääriä vastaavat ajoneuvomäärät ovat merkittäviä, sillä on arvioitu, että 2,5 TWh kattaisi esimerkiksi yli 100 000 kaasukäyttöisen henkilö- tai pakettiauton lisäksi noin 6 000 raskaan ajoneuvon tarpeen. Samalla jakaumalla täydellä kymmenen terawattitunnin vuosituotannolla biometaanin voisi toimia voimanlähteenä satojen tuhansien henkilöautojen lisäksi yli 20 000 raskaalle ajoneuvolle, mikä vastaisi jo noin 20 % Suomen nykyisestä raskaan liikenteen ajoneuvomäärästä. (Andersson ja muut, 2020, s. 27, 30, 43.)

Arvioissa henkilöautojen osuus on kuitenkin suuri. Vaikka Suomen valtioneuvoston tavoitteena on, että vuonna 2030 Suomessa olisi vähintään 50 000 kaasukäyttöistä henkilöautoa, ei hallitus ole asettanut erillistä tavoitetta raskaalle liikenteelle (Työ- ja elinkeinoministeriö ja muut, 2020a, s. 24). Tavoitetta tulisi täydentää myös raskaalle liikenteelle, sillä toisin kuin kevyemmille ajoneuvoille, näille ei ole samassa määrin vähähiilisiä polttoainevaihtoehtoja. Mikäli biokaasun tuotantopotentiaali saataisiin täysin raskaan liikenteen käyttöön, kotimainen biokaasu voisi kattaa yli 40 % raskaan tieliikenteen energiantarpeesta (Aro ja muut, 2018, s. 1).

Kuorma-autot jaetaan Suomessa pääosin kahteen ajoneuvomääriltään tasaisesti jakautuneeseen luokkaan: massaltaan 3,5–12 tonnin N2-luokkaan sekä yli 12 tonnin N3-luokkaan. On arvioitu, että keskiraskaiden N2-luokan ajoneuvojen sähköistäminen olisi merkittävässä määrin mahdollista jo vuonna 2030, kun taas suurimman osan Suomen kuorma-autoliikenteen päästöistä tuottavien raskaiden ajoneuvoyhdistelmien sähköistäminen ei ole nykytekniikan valossa mahdollista. Sen sijaan biokaasu luo mahdollisuuden jopa lähes 70 tonnin yhdistelmäajoneuvojen voimanlähteeksi. (Andersson ja muut, 2020, s. 44, 45.) Tästä syystä biokaasua tulisi tulevaisuudessa ohjata entistä enemmän raskaan liikenteen käyttöön, sillä siellä kysyntä tulee varmasti kasvamaan tankkausinfrastruktuurin kehittyessä ja fossiilisten polttoaineiden käytön vaikeutuessa.

6.2 Biokaasualan haasteet ja kehittämistoimet

Kotimaisella biokaasulla on merkittävä rooli muun muassa päästötavoitteiden sekä energiaomavaraisuuden kannalta, ja ala on jo viime vuosina kehittynyt suuresti. Alan toimintaan liittyy tällä hetkellä kuitenkin melko paljon epävarmuutta esimerkiksi investoijien näkökulmasta, ja nykyisten epävarmaksi koettujen olosuhteiden johdosta alan kehitys on ollut potentiaaliin sekä kasvaneeseen kiinnostukseen nähden hidasta.

Biokaasualan kehittymisen kannalta suurimmat haasteet liittyvät tuotantolaitoshankkeiden heikkoon kannattavuuteen sekä keskeneräiseen jakelu- ja tankkausinfrastruktuuriin. Harva tankkausverkosto vaikuttaa negatiivisesti mielenkiintoon biokaasukäyttöisiä ajoneuvoja kohtaan, jolloin sekä kaasukäyttöisten ajoneuvojen että biokaasun kysyntä ei kasva. Nämä tekijät johtavat raaka-ainepotentiaaliin nähden vähäiseen biokaasun tuotantoon. Liikenne- ja viestintäministeriön vuonna 2020 julkaiseman fossiilittoman liikenteen tiekartan mukaan tuotantolaitoshankkeiden kannattavuuteen vaikuttavat etenkin investointikustannukset, käyttö- ja huoltokustannukset sekä lopputuotteiden kysyntään liittyvät epävarmuudet ja markkinoiden kehittymättömyys. (Andersson ja muut, 2020, s. 27.) Toiminnan kehittämiseksi moni alan toimija sekä myös Suomen hallitus ovat julkaisseet erilaisia toimenpideselvityksiä, joiden avulla biokaasualan kehitys yritetään saada kasvuun.

Biokaasualalla käytetäänkin yleisesti termiä muna/kana -ilmiö kuvaamaan alan nykytilaa: jakeluverkoston laajentuminen edellyttäisi suurempaa biometaanin kysyntää, mutta kysyntä rajoittaa jakeluverkoston kehittymättömyys. Jakeluverkoston vajuus taas pienentää kiinnostusta kaasukäyttöisiin ajoneuvoihin, jolloin myöskään biometaanin kysyntä sekä tarve tuotannon lisäämiselle eivät kasva. Eri selvitysten mukaan onkin ensisijaisen tärkeää, että alan eri osioita tuettaisiin esimerkiksi verokevennyksin, investointi- ja hankintatukien sekä jakeluvelvoitteiden avulla. Tämänkaltaisia toimia voitaisiin käyttää muun muassa tukemalla sekä tuotantoon että ajoneuvohankintoihin liittyviä investointeja, jotta ala kykenisi lopulta kasvamaan markkinaehtoisesti ja saavuttamaan täyden potentiaalinsa (Andersson ja muut, 2020, s. 24).

Monet toimijat kokevat biokaasualan tulevaisuuden epävarmaksi johtuen alaan liittyvistä useista muutoksista (Työ- ja elinkeinoministeriö ja muut, 2020a, s. 58). Biokaasualaa jarruttavien epävarmuustekijöiden oikominen onkin tärkein tavoite alan kehityksen kannalta, ja tämän saavuttaminen vaatii monen eri osa-alueen kehittämistä. Työssä esitetään seuraavaksi biokaasuun liittyvien markkinoiden kehittämiseen suunniteltuja toimenpiteitä ja käydään läpi niiden vaikutuksia alan nykytilan sekä tulevaisuuden kokonaiskuvan selvittämiseksi ja epävarmuuksien vähentämiseksi.

6.2.1 Jakeluvelvoite

Biokaasu on tällä hetkellä veroton polttoaine, joka hintatasoltaan kykenee kilpailemaan perinteisten liikennepolttoaineiden kanssa. Nykyinen jakeluvelvoitelaki koskee ainoastaan nestemäisiä polttoaineita, mutta myös biokaasun sisällyttämistä velvoitteen piiriin on laajasti ehdotettu. Biokaasun verottomuus kuitenkin estää tämän suoran sisällyttämisen jakeluvelvoitteeseen, sillä Euroopan unionin valtiontukisääntely rajoittaa valtiontuen kansallista myöntämistä ja estää biokaasun samanaikaisen verottomuuden ja jakeluvelvoitteen. (Työ- ja elinkeinoministeriö ja muut, 2020a, s. 10, 46.)

Biokaasun sisällyttämistä jakeluvelvoitteen piiriin pidetään yhtenä kehitysratkaisuna jakeluverkoston rajoittuneeseen kattavuuteen. Jakeluvelvoite velvoittaisi kaasun jakelijat sisällyttämään vuositarjontaansa tietyn osuuden uusiutuvaa biokaasua, jolloin

biokaasun tuotannon sekä tarjonnan uskotaan kasvavan. Tarjonnan lisäämisen puolestaan oletetaan lisäävän biometaanin kysyntää sekä samalla tarjontaa uusilla jakeluasemilla ja näin kehittävän jakeluinfrastruktuurin kattavuutta. (Andersson ja muut, 2020, s. 28)

Biokaasun sisällyttäminen jakeluvelvoitteen piiriin edellyttää kuitenkin kaasun verottamista ympäristöperusteisen veromallin mukaisesti, ja tämän pohjalta jakeluvelvoitteen käyttöönoton on pelätty lisäävän biokaasun hintaa pienentäen tämän kilpailukykyä fossiilisiin polttoaineisiin nähden. Käytännössä biokaasun verotus tapahtuisi kuitenkin samalla energiasisältöverolla kuin maakaasun, mutta käytetyistä raaka-aineista johtuen ilman hiilidioksidiveron osuutta. Biokaasun vero olisi siis noin kolmasosa maakaasun verosta, ja hiilidioksidikomponentin puuttuminen loisi edelleen biometaanille edun fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna. Liikennesektorille tuotetulla biometaanilla on nykyisin korkein markkinahinta, joten kaasun valmistajilla on edelleen houkuttimia valmistaa biokaasua nimenomaan liikenteeseen. Laitosmäärien ja teknologioiden kehittymisen voidaan myös olettaa halventavan polttoaineen hintaa, joten alan markkinoiden kehittyessä polttoaineen hinnan uskotaan pysyvän kilpailukykyisenä. (Työ- ja elinkeinoministeriö ja muut, 2020a, s. 46, 51, 52.)

Biokaasun sisällyttäminen jakeluvelvoitteen piiriin sisältyy nykyiseen hallitusohjelmaan, ja aiheesta on julkaistu syyskuussa 2020 Työ- ja elinkeinoministeriön tilaama selvitys. Selvityksen loppuraportissa todetaan, että biometaanin voitaisiin liittää osaksi jakeluvelvoitelakia, ja verotuksen voimaantulon aiheuttamat vaikutukset vuoden 2020 velvoite-
tasolla olisivat biometaanille bensiinin hintaan suhteutettuna 0,08 €/l (Sipilä ja muut, 2020, s. 3). Biokaasun verottomuus ja liikennekäytön halpa hinta ovat olleet tärkeimpiä biometaanin edistämiskeinoja. Mikäli biokaasu sisällytetään jakeluvelvoitelain piiriin, on tärkeää varmistaa polttoaineen hinnan kilpailukykyisyyden jatkuminen fossiilisiin polttoaineisiin nähden huolimatta verotuksen aiheuttamasta lisähinnasta. (Andersson ja muut, 2020, s. 28).

6.2.2 Biokaasulaitosten investointituet

Yksi merkittävä liikennebiokaasun lisääntymistä hidastava tekijä on biokaasulaitoksiin liittyvien investointien epävarmuus, mikä pitää biokaasun tuotannon potentiaaliinsa nähden maltillisena. Epävarmuutta aiheuttavat tekijät liittyvät muun muassa korkeiden investointikustannusten ohella verotukseen, olemassa oleviin tuki- ja rahoitusohjelmiin sekä laitosten kannattavuuteen.

Biokaasun tuotantolaitosinvestoinnit ovat usein toimijoiden kokoon nähden suuria. Tarve ulkopuoliselle pääomalle on suuri, ja rahoitukseen saattaa myös sisältyä kannattavuutta pienentäviä erityisehtoja. Nämä seikat sekä epävarmuus biokaasumarkkinoiden kehityksestä johtavat monien investointipäätösten pitkittymiseen tai hylkäämiseen. Sekä investointi- että laitosten ylläpitokustannusten arvioidaan hieman laskevan teknologian kehittymisen myötä, mutta laitosten lukumäärän ja laitostoimittajien lisääntymisen uskotaan lopulta parhaiten alentavan kustannuksia. Korkeat biokaasulaitosten investointikustannukset ovat alaa hidastava tekijä erityisesti pienen mittakaavan laitoksissa. (Työ- ja elinkeinoministeriö ja muut, 2020a, s. 49, 50.)

Laitostoimittajien sekä laitosten lukumäärän kasvaminen johtaisi alan teknologian kehittymiseen, laitosten toimintavarmuuden ja hallintakyvyn parantumiseen sekä kannattavuuden lisääntymiseen. Näiden seikkojen kehittyessä ala olisi vakaampi sekä houkuttelevampi myös uusille toimijoille. Alan kehittymisen ja markkinaehtoisen kasvamisen saavuttamisen edellytyksenä olisi siis laitospääomien ja toimijoiden lisääntyminen, ja tämän mahdollistaminen vaatisi alan investointeihin liittyvien epävarmuuksien oikomista. Tähän tulisi pyrkiä tukemalla biokaasulaitoksia erityisesti näiden alkuvaiheessa erilaisten investointitukien ja kannustimien avulla. Tukiohjelmien tulisi olla myös mahdollisimman vakaita, ennakoitavia sekä muihin avustuksiin nähden yhteensopivia epävarmuuksien vähentämiseksi ja selkeyden saavuttamiseksi. (Työ- ja elinkeinoministeriö ja muut, 2020a, s. 50, 54, 59).

Biokaasulaitosten investointiin myönnetään jo nykyisin tukea, jonka suuruuteen vaikuttaa laitoksen kokoluokka, käytetyn teknologian uutuus sekä tuotetun kaasun käyttökohde. Investointituen suuruus on ollut noin 25–40 %. Kansallista biokaasuohjelmaa valmisteleva työryhmä pitääkin tärkeänä, että myös nykyisille investointitukiohjelmille varrattaisiin jatkossakin riittävät määrärahat ja laitosten tukemista jatkettaisiin riittävän korkealla tasolla. Koska alan tavoitteena on saavuttaa markkinaehtoinen toiminta, tulisi erilaisten valtion tukiohjelmien suunnittelussa pyrkiä arvioimaan niiden käytettävyyttä ja tarvetta pitkällä aikavälillä ottaen huomioon myös muut, vaihtoehtoiset taloudelliset ohjaukset päällekkäisyyksien ja ristiriitojen luomien epävarmuustekijöiden välttämiseksi. (Työ- ja elinkeinoministeriö ja muut, 2020a, s. 49, 50, 59)

6.2.3 Biokaasukaluston hankintatuet

Kaasukäyttöinen raskas kalusto on kalliimpaa kuin dieselkäyttöinen, ja tämä voi osaltaan toimia esteenä biokaasukäyttöisten ajoneuvojen hankinnassa. Biokaasukäyttöisten raskaiden ajoneuvojen hankintaan voitaisiin kuitenkin myöntää avustusta. Esimerkiksi Ruotsissa, jossa kaasukäyttöiset kuorma-autot ovat hankintahinnaltaan olleet noin 30–40 % dieselkäyttöisiä korkeampia, hankintaan myönnetään ajoneuvokohtaisesti keskimäärin 17 500 € avustusta. Myös raskaan CNG- ja LNG-kaluston hankintahintojen voidaan kuitenkin olettaa laskevan ajoneuvojen yleistyessä ja tuotantomäärien kasvaessa (Agelbratt & Berggren, 2015, s. 28; Andersson ja muut, 2020, s. 26).

Kaluston korkeammasta hankintahinnasta huolimatta biokaasukaluston elinkaarikustannukset lisäävät mielenkiintoa kaasukäyttöistä kalustoa kohtaan. Biokaasun hinta on nykyisin erittäin kilpailukykyinen fossiilisiin nähden, jolloin tämän käyttö voi vuositasolla tuottaa merkittävät polttoainesäästöt ja kompensoida näin suurempia kaluston hankintasummia. (Andersson ja muut, 2020, s. 26.)

Biokaasun markkinahinnalla onkin suuri vaikutus yritysten kalustohankintoihin, sillä polttoaineen hinnan vaikutus ajoneuvon käyttö- ja elinkaarikustannuksiin on merkittävä. On siis tärkeää, että biometaanin hinta pysyy tulevaisuudessakin kilpailukykyisenä fossiilisiin

polttoaineisiin nähden kaluston elinkaarikustannusten tuoman edun säilyttämiseksi. Bio-metaanin hintataso saattaa kuitenkin aiheuttaa heilahdella, mikäli polttoaine otetaan jakeluvelvoitteen ja tätä myötä verotuksen piiriin. Jakeluvelvoiteuudistusta varten tehdyn selvityksen mukaan kaasun lisääminen jakeluvelvoitteeseen ei kuitenkaan muuttaisi liikennepolttoaineiden kilpailukykyä tai keskinäisiä hintasuhteita. (Sipilä ja muut, 2020, s. 61.)

6.3 Tulevaisuuden näkymien arviointi

Nosteessa oleva biokaasuala vaatii erilaisia lainsäädännöllisiä toimia, jotta alan kehitys saataisiin täyteen vauhtiin ja ala saavuttaisi markkinaehtoisen kasvun. Vuonna 2020 lanseeratun, kansallista biokaasuohjelmaa varten tehdyssä selvityksessä ehdotettujen toimenpiteiden edistymistä seurataan, ja viimeisin biokaasuohjelman toimeenpanosuunnitelman tilannekatsaus on julkaistu syyskuussa 2020. Siinä on tarkasteltu kaikkien merkittävimpien biokaasualan kehityssuunnitelmaan liittyvien toimenpiteiden edistymistä. Alla tehdään katsaus esitettyjen haasteiden korjaamiseksi valjastettujen toimenpiteiden tilanteeseen. Erityisesti arvioidaan biokaasukäyttöisen raskaan liikenteen tulevaisuuden kehitysnäkymiä.

Biokaasualan kehittymisen kannalta suurimmat ongelmat liittyvät alan markkinoiden epävarmuuteen sekä jakeluinfrastruktuurin keskeneräisyyteen. Epävarmuudet koskevat laitosten investointeja ja niiden kannattavuutta sekä biokaasun kysyntää. Epävarman tilanteen takia alaa ei nähdä houkuttelevana, eikä uusia toimijoita tai biokaasulaitoksia synny. Alaan liittyvät epävarmuudet ovat merkittävä hidaste, johon ensisijaisena ratkaisuna nähdään tukiohjelmien ja määrärahojen jatkuvuuden turvaaminen. Erityisen tärkeitä toimia ovat lisäksi tämänkaltaisten ohjelmien vakauden, ennakoitavuuden sekä yhteensopivuuden varmistaminen pitkällä aikavälillä mahdollisimman selkeän markkinakuvan saavuttamiseksi.

Biokaasuohjelmassa ehdotettuja toimenpiteitä on osin jo saatu käyntiin. Alla on luettelo jo saavutetuista tai käynnissä olevista alan kehittämistoimenpiteistä, joilla pyritään vähentämään alan epävarmuuksia ja vaikuttamaan alan kehitykseen.

- Biokaasuhankkeiden lupamenettelyiden sujuvoittamiseksi kaavailut lakimuutokset lakiin biopolttoaineista, bionesteistä ja biomassapolttoaineista (7.6.2013/393) on astunut voimaan 1.1.2021. Lisäksi osa muutoksista astuu voimaan 30.6.2021. Epävarmuustekijöiden poistamiseksi on lakimuutosten lisäksi kaavailtu erilaisten lupamenettelyoppaiden sekä yhteyspisteiden luomista biokaasuhankkeille. (Työ- ja elinkeinoministeriö ja muut, 2020b, s. 6.)
- Biokaasuhankkeiden rahoitusmahdollisuuksien parantamista on työstetty informaatio-ohjauksen avulla. Energiatuen myöntövaltuutta, jota voidaan käyttää biokaasuhankkeiden tukemiseen, on korotettu. (Työ- ja elinkeinoministeriö ja muut, 2020b, s. 1.)
- Biokaasun jakeluinfrastruktuuritukea koskeva valtioneuvoston asetus (VNA 498/2018) on päivitetty ja muutokset ovat astuneet voimaan 23.7.2020. Biokaasun tankkausasemien määrärahaa on kasvatettu. Valtioneuvoston asetukseen tehdyt muutokset ovat muun muassa parantaneet toimintavarmuuden merkitystä sekä raskaan liikenteen tankkausasemien menestymisedellytyksiä ja lisänneet joustavuutta. (Työ- ja elinkeinoministeriö ja muut, 2020b, s. 4.)
- Kaasuajoneuvokantaa kasvattavat toimenpiteet on aloitettu valmistelemalla puhaiden ajoneuvohankintojen direktiivin siirtäminen kunnalliselta tasolta kansalliseen lainsäädäntöön. Direktiivin velvoitteilla pyritään edistämään uusiutuviin energianlähteisiin perustuvia ajoneuvohankintoja, ja direktiivin mukaiset velvoitteet ovat tulossa sovellettavaksi elokuussa 2021. (Työ- ja elinkeinoministeriö ja muut, 2020b, s. 6.)
- Jakeluvetoisuuden käyttöönoton vaikutuksista on julkaistu selvitys vuonna 2020 ja velvoite on todettu käyttöönotettavaksi. Lakimuutos jakeluvetoisuuden käyttöönotosta on tavoitteena saattaa voimaan vuoden 2021 aikana. (Työ- ja elinkeinoministeriö ja muut, 2020b, s. 5.)

Biokaasualan kehittämiseksi on siis jo aloitettu suuri määrä lainsäädännöllisiä toimia, ja näiden toteuttamiseksi on luotu tarkka suunnitelma. Moni lakimuutos biokaasualan epävarmuuksien oikomiseksi on saatu nopeassa aikataulussa voimaan ja useita muita lakimuutoksia sekä alan kehitystä vakiinnuttavia toimia on työn alla. Alaan kohdistuvaa kiinnostusta kuvaa myös se, että valtioneuvoston tavoite 50 000 kaasuhenkilöautosta tullaan oletettavasti saavuttamaan jo nykyisten ohjauskeinojen ja autovalikoiman pohjalta, eli keinoilla ennen kuin kansallisen biokaasuohjelman toimenpiteitä aloitettu (Työ- ja elinkeinoministeriö ja muut, 2020, s. 25).

Biometaanin kustannukset ovat olleet epävarmuuden kohde, ja jakeluvetoisuuden mahdollisen käyttöönoton tuomat hintavaihtelut ovat olleet näihin yksi syy. Jakeluvetoisuuden käyttöönoton vaikutuksista on kuitenkin julkaistu erillinen selvitys, jossa tämän käyttöönoton vaikutukset muun muassa pumppuhintaan on esitetty. Jakeluvetoisuuden pohjimmainen tarkoitus on kasvattaa tuotantoa sekä kysyntää ja sen käyttöönotto nähdään keskeisenä uusiutuvan energian ja biokaasun edistämiskeinona. Markkinoiden kehittymisen kannalta olisi tärkeää, että sekä kysyntä että tarjonta kasvaisivat rinnakkain, ja jakeluvetoisuudella pyritään tämän saavuttamiseen (Andersson ja muut, 2020, s. 27).

Biometaanin hinnan uskotaan myös vakiintuvan alan sekä markkinoiden kehittyessä. Biometaanin hinnan kilpailukykyyn ja tuotannon kannattavuuden ylläpitämiseksi hintatasoa tulee tarkkailla ja mahdollisesti myös alkuvaiheessa tukea alan kehityksen ylläpitämiseksi. Hintatasoon vaikuttavat pääasiassa kuitenkin ajan sekä kehityksen myötä muuttuvat tekijät. Hintatason uskotaan vakiintuvan, kun alan kilpailu lisääntyy, tuotantomäärät ja -teknologiat kehittyvät, tuotannon tehokkuus parantuu sekä jakelu- ja varastointi-infrastruktuuri kehittyvät. Pitkällä aikavälillä raaka-aineiden hintakehitys saattaa tuoda muutoksia. (Agelbratt & Berggren, 2015, s. 27.)

Suurimmat biokaasualan kehitykseen liittyvät haasteet on tunnistettu, kuten myös biokaasun potentiaalinen rooli kotimaisena ja puhtaana liikennepolttoaineena. Biokaasun potentiaaliin yltämiseksi ja nykyisten hidasteiden korjaamiseksi on perustettu oma hallitusohjelmansa, joten alan tulevaisuus näyttää lupaavalta. Alaan kohdistuvia muutoksia suunniteltaessa on kuitenkin tärkeintä, ettei erilaisten velvoitteiden ja tukiohjelmien

lanseeraaminen aiheuta keskinäisiä ristiriitoja ja toimintojen epävarmuutta. Alan epävarmuuksien oikomisella on suuri vaikutus markkinoihin.

Biokaasun rooli raskaan liikenteen polttoaineena tulevaisuudessa näyttää vankalta edellä esitettyjen toimenpiteiden ja tavoitteiden pohjalta. Lisäksi vuonna 2020 raskaan liikenteen tankkausinfrastruktuurin kehittämistoimia on erityisesti nostettu esiin muun muassa tukimääriä kasvattamalla sekä keskittämällä kehitystoimia nimenomaan raskaan liikenteen tarpeisiin. Erityisesti pitkällä tähtäimellä raskaan liikenteen biokaasukäytön uskotaan korostuvan, sillä tieliikenteen ajoneuvoista kaikista raskaimmat kuljetukset ovat vaikeimpia sähköistää. Kuitenkin jo nykyisin käytettävissä oleva tekniikka mahdollistaa biokaasun käytön näihin kuljetuksiin jopa yli tuhannen kilometrin toimintaetäisyyksillä.

Biokaasuala elää juuri nyt murroksessa, jossa kehitystä autetaan käyntiin valtion sekä hallituksen tasolla. Vastaavaa rakenteellista energia-alan kehitystä on hyödynnetty esimerkiksi tuulivoima-alalla, jonka alkutaipaleella laitosinvestointeja ja tuotantoa tuettiin, mutta vuonna 2019 kaikki Suomeen rakennetut tuulivoimalaitokset rakennettiin jo markkinaehtoisesti ilman valtion tukea (Suomen Tuulivoimayhdistys, 2020). Biokaasualan tulevaisuus näyttää valoisalta, ja voidaan olettaa, että raskas liikenne tullaan näkemään biokaasumarkkinoilla entistä kiinnostavampana kohteena ajan kuluessa.

7 Pohdinta

Biokaasukäyttöisten raskaiden ajoneuvojen huollon tarpeen sekä kestävyysden selvittämiseksi hyödynnetyt huoltotiedot olivat alkuperäisistä taustatarkoituksista johtuen sisältöään erilaisia. Tästä johtuen tietoja lähestyttiin eri näkökulmista ja niitä painotettiin työssä eri tarkoituksiin.

Työhön toimitetut kaupunkibussien huoltotiedot olivat käsin koottuja vika- ja huoltotapausten yksittäisiä kirjauksia, kun taas jätekeräysautojen tiedot olivat peräisin suoraan ajoneuvoja huoltavan korjaamon tietokannasta ja pitivät sisällään lähes kaiken huoltoihin liittyvän tiedon. Kaasubussien huoltotietojen alkuperäisen käyttötarkoituksen vuoksi tiedoissa ei ollut painotettu varsinaisia vikoja aiheuttaneita syitä tai taustatekijöitä. Eri rikkoutumistapausten tapahtumakuvaukseksi oli usein kirjattu ainoastaan tietty komponentti tai esiintyneen ongelman ilmenemismuoto, ja lisäksi tiedot pitivät sisällään myös paikoin ristiriitaisia sekä puutteellisia merkintöjä. Näistä johtuen huoltotietoja pidettiin paikoin riittämättöminä ongelmakohtien analysointia varten.

Työssä saatuja tuloksia tarkasteltaessa kuitenkin havaittiin, että käytetyt tiedot olivat työn tavoitteiden kannalta riittäviä. Kirjatut ongelmat kohdistuivat lähes täysin komponentteihin, joita myös perinteiset ajoneuvot hyödyntävät, eikä käytetyn biokaasupolttoaineen nähty vaikuttaneen vikatapauksiin. Näin ollen työssä ei ollut tarvetta analysoida yksityiskohtaisesti vikatapausten taustatekijöitä. Saadut tulokset olisivat kuitenkin todennäköisesti olleet laajempialaisia, mikäli käytettävissä olisi ollut keräysautojen tapaan tiedot suoraan ajoneuvojen huolloista vastaavan toimijan palvelusta.

Jätekeräysautojen huoltotietojen perusteella arvioidun huollon tarpeen tulosten nähdään peilautuvan myös muiden valmistajien vastaavaan kalustoon, sillä valtaosa ajoneuvojen huoltohistorioista piti sisällään perinteisilläkin polttoaineilla toimivien ajoneuvojen tavanomaisia huoltotoimia. Kestävyttä arvioidessa saatuja tuloksia ei sen sijaan voida suoraan yhdistää muiden valmistajien kalustoon, sillä biokaasukäyttöiset raskaat ajoneuvot ovat yhä melko uusia markkinoilla ja kalustojen tuotekehitykset saattavat olla

hyvinkin eri vaiheissa. Valmistajien erot voivat olla merkittäviä myös perinteistenkin polttoaineen ajoneuvojen tapauksessa.

Työssä kerättyihin raskaalla biokaasukalustolla toimivien kuljettajien käyttäjäkokemuksiin saatiin odotettua vähemmän vastauksia, ainoastaan kaksi. Suurempi otanta olisi todennäköisesti tuonut työhön enemmän erilaisia kokemusperäisiä huomiokohtia ajoneuvojen käytöstä. Lisäksi saatujen vastausten välillä oli havaittavissa pientä vaihtelua kuljettajien suhtautumisesta kalustoon, ja suuremmalla vastausmäärällä työhön olisi todennäköisesti saatu enemmän myös eriäviä näkökulmia. Saadut vastaukset olivat kuitenkin kattavasti kirjoitettuja, kysymyksiin vastattiin tarkasti, ja niissä tuotiin hyvin lisätietoa myös kysymysten ulkopuolisista seikoista. Käyttäjäkokemuksista saatiin työhön arvokkaita näkökulmia, joita ei muista tietolähteistä ollut saatavissa.

Biokaasualan kehittämiseksi kaavaillut sekä paikoin jo aloitetut toimenpiteet on pääosin tehty Suomen hallituksen tilaamien selvitysten pohjalta, joissa näiden merkitystä sekä vaikutuksia on arvioitu laajalla otannalla. Kotimaisen biokaasualan markkinaehtoista kasvamista vastaavassa tavoitteessa on onnistuttu jo tuulivoima-alalla, joten myös hallituksen biokaasuohjelmalla nähdään olevan hyvät lähtökohdat tämän saavuttamiseksi. Tätä tukevat myös muun muassa alaan kohdistuva kiinnostus, päästötavoitteet sekä Euroopan Unionin ajamat jätehuoltotavoitteet kiertotalousperiaatteiden lisäämiseksi.

Tässä työssä saadut tulokset ovat hyödynnettävissä osana biokaasualan mahdollisuuksien sekä näkyvyyden esiintuomista. Tämän työn aiheeseen liittyvää jatkotutkimusta voitaisiin lisäksi keskittää muun muassa nesteytetyn kaasun raskaiden ajoneuvojen mahdollisuuksiin Suomen tieliikenteessä, sillä näiden merkitys sekä rooli tulee kasvamaan tulevaisuudessa. Kaasumaisen polttoaineen käyttäytymistä ja vaikutuksia eri komponentteihin voitaisiin tutkia myös kokeellisesti. Tuloksia verrattaisiin nestemäisillä polttoaineilla saatuihin.

8 Johtopäätökset

Tämän työn tarkoituksena oli lisätä tietoutta biokaasun mahdollisuuksista raskaan liikenteen polttoaineena. Työn tavoitteena oli pienentää raskaan liikenteen toimijoiden hankintakynnystä biokaasukäyttöiseen kalustoon todentamalla biometaanin turvallisuus- ja käyttöominaisuuksia sekä selvittämällä biokaasukäyttöisen raskaan kaluston kestävyyttä ja huollon tarvetta. Työssä tehtiin näiden tavoitteiden syventämiseksi myös katsaus suomalaisen biokaasualan tulevaisuuden näkymiin.

Työssä tehdyn kirjallisuuskatsauksen perusteella biometaani todettiin täysin turvallisesti polttoaineeksi, jonka käyttö ei aiheuta terveys-, tulipalo- tai ympäristön saastumisen riskiä vuodon sattuessa esimerkiksi onnettomuustilanteessa. Kaasumaisen biometaanin käyttö ei myöskään polttomoottorikäytössä vaadi lainkaan uudenlaista tekniikka eikä ajoneuvon kuljettajalta erityistä vaivaa esimerkiksi tankkaamisessa. Kirjallisuuskatsauksessa havaitut tulokset osoittavat, ettei biometaanin käyttö liikennepolttoaineena eroa käyttäjän kannalta juuri lainkaan perinteisten nestemäisten polttoaineiden käytöstä.

Työn tärkeä tehtävä oli arvioida raskaan kaluston biokaasujoneuvojen kestävyyttä sekä huollon tarvetta hyödyntämällä ajossa olevan kaluston huoltotietoja. Huoltojen sisältöjä tarkasteltaessa ei havaittu tekijöitä tai toimenpiteitä, jotka olisivat lisänneet kaluston huollon tarvetta ja huoltokertojen määrää verrattuna perinteisten polttoaineiden ajoneuvoihin. Varsinaiseen kaasujärjestelmään tai tämän komponentteihin liittyi ainoastaan harvoin suoritettuja kaasusuodattimen vaihtoja, ja kalustoa ylläpitävien huoltojen toimenpiteet olivat hyvin pitkälti samoja kuin perinteisissäkin ajoneuvoissa. Työssä tarkasteltujen biokaasujoneuvojen huoltohistorioita tarkasteltaessa ei havaittu lainkaan viitteitä siitä, että kaasumainen polttoaine tai tämän käytön edellyttämät komponentit vaikuttaisivat ajoneuvojen huollon tarpeeseen.

Myöskään kaasukäyttöisen kaluston kestävyyttä tutkittaessa ei havaittu tekijöitä, joiden vaikutuksesta biokaasukäyttöinen kalusto olisi perinteisiin ajoneuvoihin nähden kestävyydeltään heikompa. Käsitellyssä kalustossa ongelmia aiheuttaneet komponentit tai havaitut viat olivat pääasiassa samoja kuin perinteisissäkin ajoneuvoissa. Kaasumaiseen polttoaineeseen suoraan yhdistettäviä tapauksia ei esiintynyt, eivätkä kohdatut

vikatapaukset antaneet syitä epäillä, että käytetty kaasumainen polttoaine olisi vikojen syy. Eri valmistajien sekä käyttökohteiden ajoneuvojen välillä havaittiin kuitenkin eroavaisuuksia, mutta tiettyjen valmistajien ajoneuvoissa havaitut viat näyttivät kohdistuvan pääasiassa samoihin komponentteihin.

Raskaiden biokaasuajoneuvojen käytettävyyteen liittyviä seikkoja selvitettiin myös ke-
räämällä kalustolla jo operoivien ammattikuljettajien käyttäjäkokemuksia. Saadut vas-
taukset osoittivat, että biokaasukäyttöiset kuorma-autot ovat paikoin ajotuntumaltaan
ja käytettävyydeltään hyvin lähellä dieselkäyttöisiä, mutta valmistajien väliset erot ovat
yhä suuria. Kuljettajien mukaan biokaasupolttoaineeseen liittyvät kehitystarpeet kohdis-
tuvut kahteen asiaan: kaasun tankkausasemat on saatava nykyistä paremmin soveltu-
maan raskaille ajoneuvoille ja jakeluverkostoa on tihennettävä. Eri valmistajien ajoneu-
voja yhdistää yhteinen puute: moottorien vääntomomentti on vaatimaton.

Työn tavoitteiden tueksi tehtiin myös katsaus alan tulevaisuuden näkymiin Suomessa.
Biokaasukäyttöisten ajoneuvojen määrän odotetaan erityisesti raskaan liikenteen ta-
pauksessa kasvavan, sillä toisin kuin kevyemmät ajoneuvot, raskas runkoliikenne on vai-
kea sähköistää suurten kuormamassojen ja pitkien kuljetusetäisyyksien vuoksi. Kotimai-
sella biokaasulla voitaisiin valjastaa kymmeniä tuhansia raskaita ajoneuvoja, millä saavu-
tettaisiin merkittäviä hyötyjä niin päästötavoitteissa kuin Suomen energiaomavaraisuus-
dessakin. Biokaasualan mahdollisuudet on tunnistettu kansallisella tasolla ja maamme
biokaasupotentiaalin käyttöön saattaminen on otettu osaksi hallitusohjelmaa.

9 Yhteenveto

Päästötavoitteisiin nähden nykytahdilla liian hitaasti pienenevät liikennesektorin kasvihuonekaasupäästöt ovat vähähiilisen tulevaisuuden tavoittelun kannalta merkittävässä roolissa. Erityisesti raskas liikenne on avainasemassa, sillä raskas kalusto tuottaa noin kolmanneksen tieliikenteen kasvihuonekaasupäästöistä ja on lisäksi kaikista vaikeimmin sähköistettävissä. Tulevaisuudessa raskaan kaluston tulisikin nojautua entistä enemmän vähähiilisiin sekä uusiutuviin energianlähteisiin, kuten kotimaiseen biokaasuun.

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää biokaasukäyttöisen raskaan kaluston kestävyyttä sekä tuoda esiin sen huollon tarvetta. Työn tavoitteena oli lisätä yhä dieselillä operoivien raskaan liikenteen toimijoiden tietoutta biokaasun mahdollisuuksista ja pienentää biokaasukäyttöisen kaluston hankintakynnystä. Näiden tavoitteiden tueksi työssä esiteltiin kirjallisuuskatsaukseen pohjautuen biokaasun polttoaine-, käyttö- sekä turvallisuusominaisuuksia sekä tehtiin katsaus alan potentiaaliin ja tulevaisuuden näkymiin Suomessa. Biokaasukäyttöisten raskaiden ajoneuvojen huollon tarvetta sekä kestävyyttä arvioitiin hyödyntäen eri toimijoiden tarjoamia ajoneuvojen huolto- ja vikatietoja. Huoltotiedot sisälsivät dataa kahdestatoista biokaasukäyttöisestä kaupunkibussista sekä viidestä biokaasukäyttöisestä jätekeräysautosta.

Biometaanin polttoaineominaisuudet sekä päästöt ovat erinomaisella tasolla, eikä kaasun käyttö vaadi ajoneuvon tekniikalta tai kuljettajalta perinteisiin polttoaineisiin nähden merkittäviä muutoksia. Huoltotietojen pohjalta ei havaittu kaasumaisen polttoaineen lisäävän ajoneuvojen huollon tarvetta, vaan ajoneuvojen huoltaminen perustui pääosin samoihin toimenpiteisiin kuin perinteisilläkin ajoneuvoilla. Myöskään kaluston kestävyyttä tarkasteltaessa ei havaittu lainkaan viitteitä siitä, että käytetty polttoaine vaikuttaisi ajoneuvon komponenttien kestävyYTEEN. Työn tulokset osoittivat biokaasukäyttöisten raskaiden ajoneuvojen olevan hyvin pitkälti perinteisiä ajoneuvoja vastaavia sekä käytettävyydeltään, kestävyydeltään että huoltotarpeiltaan.

Työssä kerättiin myös biokaasukäyttöisellä raskaalla kalustolla operoivien ammattikuljettajien käyttäjäkokemuksia. Saadut vastaukset kertoivat eri valmistajien ajoneuvojen

välisistä eroista, mutta niissä mainittiin biokaasukäyttöisten ajoneuvojen olevan hyvin lähellä dieselkäyttöisiä, eikä käytettävyydessä ollut havaittu merkittäviä eroja. Ainut biokaasukäyttöisten ajoneuvojen käytettävyyteen liittyvä ongelma vaikutti olevan moottorien tuottama vaatimaton vääntömomentti, minkä lisäksi tankkausasemien vähyys sekä soveltuvuus raskaille ajoneuvoille koettiin kiinnostusta pienentäväksi tekijäksi.

Kiinnostus biokaasualaan sekä tietämys alasta ovat kasvaneet suuresti. Biokaasumarkkinoita on kuitenkin pidetty epävarmana, eikä ala ei ole kehittynyt tätä kiinnostusta vastaavaan tahtiin. Epävarmuustekijät on kuitenkin hallitustasolla tunnistettu, ja Suomen nykyiseen hallitusohjelmaan sisältyykin erillinen biokaasuohjelma, jonka tavoitteena on saattaa Suomen biokaasupotentiaali käyttöön. Toimenpiteitä on jo aloitettu, ja moni lainsäädännöllinen muutos alan kehittämisen tueksi on astunut voimaan nopealla aikataululla.

Biokaasukäyttöisen raskaan liikenteen kasvua Suomessa puoltavat polttoaineen ominaisuudet, ympäristöystävällisyys, turvallisuus sekä käyttö- ja hyödyntämistekniikat. Biokaasun käyttötekniikat ja ajoneuvon kestävyys sekä huollon tarve ovat hyvin lähellä sitä, mihin perinteisillä polttoaineilla on totuttu. Biokaasu on polttoaine, joka soveltuu suuripäästöisten ja myös kaikista raskaimpien maantiekuljetusten vaihtoehtoiseksi voimantehdeksi. Kotimaisen biokaasun potentiaalin sekä alan kehitysnäkymien pohjalta on odotettavissa, että biokaasua tullaan tulevaisuudessa ohjaamaan entistä enemmän raskaan liikenteen käyttöön.

Lähteet

- Agelbratt, A. & Berggren, A. (2015). *Potentials of LBM in Europe*. Euroopan komissio.
https://lngbc.eu/system/files/deliverable_attachments/LNG%20BC%20D3.9%20Potential%20of%20LBM%20in%20Europe%20UPDATE.pdf.
- Alakangas, E., Hurskainen, M., Laatikainen-Luntama, J., & Korhonen, J. (2016). *Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia*. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Technology, No. 258 <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2016/T258.pdf>
- Andersson, A., Jääskeläinen, S., Saarinen, N., Mänttari, J. & Hokkanen, E. (2020). *Fossiliittoman liikenteen tiekartta -työryhmän loppuraportti*. Liikenne- ja viestintäministeriö. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-598-9>
- Aro, K., Rautiainen, A., Talus, K., Pääkkönen, A., Aalto, P., Kojo, M. & Rönkkö, T. (2018). *Voiko raskas tieliikenne siirtyä biokaasuun?* EL-TRAN konsortio. <http://www.urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-0879-7>
- Baxter, D., Murphy, J. & Wellinger, A. (2013). *The biogas handbook: Science, production and applications*. Woodhead Publishing.
- Bosch (2013, 14. syyskuuta). Bosch Compressed Natural Gas Powertrain Animation. [Video]. YouTube. Haettu 26.2.2021 osoitteesta <https://youtu.be/11cgTziUizU>
- Gasum (2020). *Uusiutuvalla biokaasulla voidaan tehokkaasti vähentää päästöjä*. Gasum. Haettu 20.1.2021 osoitteesta <https://www.gasum.com/kaasusta/biokaasu/biokaasun-paastot/>.
- Khan, M., I., Yasmin, T. & Shakoor, A. (2015). Technical overview of compressed natural gas (CNG) as a transportation fuel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 51, 785–797. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.053>

- Kinnunen, V. & Rintala, J. (2015). Biokaasualan monet mahdollisuudet. Teoksessa: *Biokaasuteknologia. Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen*, 9–19. Toim. Kymäläinen, M. & Pakarinen, O. Suomen Biokaasuyhdistys ry.
- Lampinen, A. & Rautio, E. (2015). Biokaasun käsittely ja hyödyntäminen. Teoksessa: *Biokaasuteknologia. Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen*, 124–171. Toim. Kymäläinen, M. & Pakarinen, O. Suomen Biokaasuyhdistys ry.
- Lampinen, A. (2008). *Liikennebiokaasulainsäädäntö*. Vaasan yliopisto, Levón-instituutti.
- Lampinen, A. (2009). *Uusiutuvan liikenne-energian tiekartta*. Toim. Westman, A. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-604-101-1>
- Lampinen, A. (2015). Biokaasualan historia ja tulevaisuus. Teoksessa: *Biokaasuteknologia. Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen*, 190–196. Toim. Kymäläinen, M. & Pakarinen, O. Suomen Biokaasuyhdistys ry.
- Mercedes-Benz (2019). *BlueEFFICIENCY Power Engines. Mercedes-Benz Buses and Coaches*. https://www.mercedes-benz-bus.com/content/dam/mbo/markets/common/buy/services-online/download-technical-brochures/images/content/special-brochures/blue-efficiency-power-engines-08-19/1047_MB_BR_Motoren_2019_EN.pdf
- Niemi Palvelut Oy (2020). *Ympäristöpolitiikka*. Niemi Palvelut Oy. Haettu 21.12.2020 osoitteesta <https://www.niemi.fi/yritys/ymparistopolitiikka>.
- Remeo Oy (2020). *Vastuullisuus on liiketoimintamme ytimessä*. Remeo Oy. Haettu 14.12.2020 osoitteesta <https://remeo.fi/yritys/vastuullisuus>.
- Scania (2017a). *Miksi biokaasubussit?* Scania Suomi. Haettu 27.10.2020 osoitteesta <https://www.scania.com/fi/fi/home/experience-scania/features/miksi-biokaasubussit.html#image=640365663>
- Scania (2017b). *Vaasan kaupunki satsaa joukkoliikenteessään biokaasuun*. Scania Suomi. Haettu 27.10.2020 osoitteesta <https://www.scania.com/fi/fi/home/experience-scania/features/vaasan-kaupunki-satsaa-joukkoliikenteessaan-biokaasuun.html>

- Scania (2018). *Scanian EURO 6 -moottorivalikoima tarjoaa tehoa tarpeen tullen*. Scania Suomi. Haettu 27.10.2020 osoitteesta <https://www.scania.com/fi/fi/home/experience-scania/news-and-events/events/iaa-2018/lehdistotiedotteet/scanian-euro-6--moottorivalikoima-tarjoaa-tehoa-tarpeen-mukaan.html>
- Scania (2020, 7. helmikuuta). *Biokaasu puristaa muuttoauton päästöt minimiin – yhdellä tankkauksella ajaa jopa 600 kilometriä*. Helsingin Sanomat. Haettu 8.1.2020 osoitteesta <https://www.hs.fi/mainos/art-2000006398934.html>.
- Sipilä, E., Kiuru, H., Nylund, N-O. & Sipilä, K. (2020). *Jakeluvelvoitteen laajentaminen*. Työ- ja elinkeinoministeriö. https://tem.fi/documents/1410877/2132212/Jakeluvelvoitteen_laajentaminen_loppuraportti_julkaisu.pdf/732b8c4d-c07d-b6ca-d4a7-8af1f2a00b37/Jakeluvelvoitteen_laajentaminen_loppuraportti_julkaisu.pdf/Jakeluvelvoitteen_laajentaminen_loppuraportti_julkaisu.pdf?t=1599738665281.
- Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G., Tignor, M., Allen, S., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>
- Suomen Kaasuyhdistys (2014). *Maakaasukäsikirja*. <https://www.kaasuyhdistys.fi/julkaisut/maakaasun-kasikirja/>
- Suomen Kaasuyhdistys, Turvallisuus- ja kemikaalivirasto & Gasum (2015). *Kaasuajoneuvojen turvallinen huolto ja korjaus*. Suomen kaasuyhdistys. Haettu 3.3.2021 osoitteesta <https://www.kaasuyhdistys.fi/julkaisut/kaasuajoneuvojen-turvallinen-huolto-ja-korjaus/>.
- Suomen Tuulivoimayhdistys (2020, 30. tammikuuta). *Tuulivoimavuosi 2019: Kaikki uudet tuulivoimalat rakennettiin markkinaehtoisesti*. Suomen Tuulivoimayhdistys. Haettu 11.3.2021 osoitteesta <https://tuulivoimayhdistys.fi/ajankohtaista/tiedotteet/tuulivoimavuosi-2019-kaikki-uudet-tuulivoimalat-rakennettiin-markkinaehtoisesti>.

- Söderena, P., Suomalainen, M., Kajolinna, T., & Melin, K. (2019). *Biometaanin välivarastointi ja varastointi ajoneuvossa: Tulevaisuuden mahdollisuudet*. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Tutkimusraportti, No. VTT-R-06978-18
- Työ- ja elinkeinoministeriö (2017, 31. tammikuuta). *Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030*. Työ- ja elinkeinoministeriö. ISBN: 978-952-327-190-6.
- Työ- ja elinkeinoministeriö, maa- ja metsätalousministeriö, ympäristöministeriö, liikenne- ja viestintäministeriö & valtiovarainministeriö (2020a). *Biokaasuohjelmaa valmisteleavan työryhmän loppuraportti*. Työ- ja elinkeinoministeriö. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-482-2>
- Työ- ja elinkeinoministeriö, maa- ja metsätalousministeriö, ympäristöministeriö, liikenne- ja viestintäministeriö & valtiovarainministeriö (2020b). *Biokaasuohjelman toimeenpanosuunnitelma – Tilanne 09/2020*. Työ- ja elinkeinoministeriö.
- UN/ECE (2015, 30. kesäkuuta). *Säntö nro 110 – Yhdenmukaiset määräykset, jotka koskevat seuraavien hyväksyntää: I. Paineistettua maakaasua (CNG) ja/tai nesteytettyä maakaasua (LNG) moottorin polttoaineena käyttävien ajoneuvojen erityisosat; II. Tyyppihyväksytyillä erityisosilla varustetut, paineistettua maakaasua (CNG) ja/tai nesteytettyä maakaasua (LNG) moottorin polttoaineena käyttävät ajoneuvot tällaisten erityisosien asennuksen osalta*. Euroopan unionin virallinen lehti. Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomissio. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=OJ:L:2015:166:TOC#document1>

Liitteet

Liite 1. Vaasan kaupungin biokaasukäyttöisten kaupunkibussien huolto- ja vikamerkinnot vuoden 2018 aikana.

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12		
Kaupungin markkinointiajaja			1			1							2	2,0 %
Huolto	2	2	2	2	3	3	3	4	3	4	3	3	34	34,0 %
Ei kaasua		1	1		2			2				1	7	7,0 %
Moottorin toimintahäiriö		2											2	2,0 %
EGR-venttiili		2	1	1		1	1				1		7	7,0 %
Turbon imuputki					1								1	1,0 %
Kaasun ohjauksyksikkö						1						1	2	2,0 %
Vaihdelaatikko		1					1						2	2,0 %
Jarrupalat		1			1		1	1	1			1	6	6,0 %
Ilmatyynyvika	1	1	1			1	1		1			1	7	7,0 %
Autom. sensori							1						1	1,0 %
Käsi jarru							1						1	1,0 %
Telin vikailmoitus	1												1	1,0 %
Tasapaino akseli											1		1	1,0 %
Vesivuoto		1			1								2	2,0 %
Vesisäiliö												1	1	1,0 %
Ovivika		1	2									2	5	5,0 %
Ilmaisinvika									1	1			2	2,0 %
Ilmavuoto	1		1								1	1	4	4,0 %
Lämmityslaittevika				1		1					1	1	4	4,0 %
Ilmastointi					1		1	1					3	3,0 %
Seäkalustevika					2				1	1			4	4,0 %
Linjakilven lasi					1								1	1,0 %
	5	12	9	4	12	8	10	8	7	6	7	12	100	
	5,0 %	12,0 %	9,0 %	4,0 %	12,0 %	8,0 %	10,0 %	8,0 %	7,0 %	6,0 %	7,0 %	12,0 %		

Liite 2. Vaasan kaupungin biokaasukäyttöisten kaupunkibussien huolto- ja vikamerkinnot vuoden 2019 aikana.

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12		
Kaupungin markkinointiajaja										1			1	0,8 %
Iso huolto	2	2	2	3	3	2	2	2	3	1	1	2	25	19,7 %
Pieni huolto	2	2	3		3	2	1	2	1	2	4	2	24	18,9 %
Ei kaasua													0	0,0 %
Moottorin toimintahäiriö					2			2				1	5	3,9 %
EGR-venttiili			1		1								2	1,6 %
Turbon imuputki	1						1					1	3	2,4 %
Puolat								1					1	0,8 %
Kannentiviste					1								1	0,8 %
Öljynpainevaroitin								1					1	0,8 %
Vaihdelaatikko			1						1				2	1,6 %
Moniurarahihna												1	1	0,8 %
Jarrupalat	1	2						1		1	2		7	5,5 %
Ilmatyynyvika	1		3	3	1	1	2	3	3	1	2		20	15,7 %
Käsi jarru				1									1	0,8 %
Vesivuoto/vesipumppu		2		1		1							4	3,1 %
Ovivika	1	2				1		2	1	1	1	1	10	7,9 %
Ilmaisinvika												1	1	0,8 %
Ilmavuoto									1				1	0,8 %
Lämmityslaittevika				1						1			2	1,6 %
Ilmastointi				1	1		2					2	6	4,7 %
Linjakilpi					1	1							2	1,6 %
Tuulilasin puhallin				1	1					1			3	2,4 %
Jousitus			1										1	0,8 %
Kallistuksenvakaaja		1											1	0,8 %
Tasoaääntänturi		2											2	1,6 %
	8	13	11	11	14	8	8	14	10	9	10	11	127	
	6,3 %	10,2 %	8,7 %	8,7 %	11,0 %	6,3 %	6,3 %	11,0 %	7,9 %	7,1 %	7,9 %	8,7 %		

Liite 3. Käyttäjäkokemusten kysymykset sekä saadut vastaukset

1. Kuinka pitkä kokemus sinulla on kaasukäyttöisellä kalustolla operoimisesta?

Vastaus 1: Noin vuosi

Vastaus 2: 2 vuotta

2. Kaasukuorma-autojen sanotaan olevan hiljaisempia kuin dieselmootoreilla kulkevien. Onko hiljaisempi käynti selkeästi huomattavissa ja onko se vaikuttanut käytettävyyteen tai ajomukavuuteen?

Vastaus 1: Hiukan hiljaisempi, ei merkittävää vaikutusta

Vastaus 2: Kaasukuorma-autot ovat hiljaisempia muttei kuitenkaan loppujen lopuksi niin merkittävää eroa dieseleihin. Tosin riippuu myös mallista ja merkistä. Esimerkiksi Scanian kaasumallit ovat Volvon malleja laadukkaampia ja samalla hyvin hiljaisia verrattuna Volvoon.

3. Onko pidemmillä matkoilla kaasua ollut aina asemilta saatavilla vai onko saatavuuden kanssa ollut ongelmia?

Vastaus 1: En ole ajanut kaasautolla kauas

Vastaus 2: Pääasiassa ajot on firmassamme hoidettu niin, että pidemmille matkoille (yli 200 km) on valittu diesel-käyttövoimainen kuorma-auto, joten isompia ongelmia kaasun tankkausasemien löytämisessä on ollut oman kokemukseni mukaan todella vähän. Pk-seudulla kaasuasemat sijaitsevat lähellä toimistamme.

4. Onko uudenlainen tankkausrutiini ollut helppo omaksua?

Vastaus 1: Ei ole, kaasuasemat ovat suunniteltu lähinnä henkilöautoja ajatellen, paine ei välttämättä riitä kaikkiin kellonaikoihin kuorma-autolle ja saattaa joutua ajamaan kauemmas tankkaamaan isommalle asemalle. Firman dieselautot tankataan firman pihassa ja siihen kuluu noin 10 min ylimääräistä, kaasun tankkauksessa menee yli 30 min.

Vastaus 2: On hyvinkin, tankkaus on monin kerroin helpompaa ja lisäksi siistimpää, kun ei tarvitse koskea kuin tankkauspistooliin sitä asetettaessa auton venttiiliin kiinnittäessä ja poistaessa (riskiä ylitäyttöroiskeille ei ole). Tankkauksen aikana voi hoitaa vaikka työpuhelun tai muita työasioita

5. Onko kaasukaluston tankkaamisessa eroja perinteisiin polttoaineisiin esimerkiksi tankkauksen keston tiimoilta?

Vastaus 1: Helppoa, kunhan tottuu. Kestää pidempään, mutta ajan voi istua lämpimässä autossa.

Vastaus 2: On, sillä kaasun tankkaukseen kuluu yleensä noin 10-15 min melkein tyhjältä tai 1/4 täytöstä. Verrattuna taas dieselin tankkauksen noin 5 minuuttiin.

6. Henkilöautojen kohdalla pikatankkausasemilla on monesti esiintynyt vajaatankkausta. Onko vastaavaa osunut omalle kohdalle?

Vastaus 1: Kyllä, sekä henkilö -että kuorma-autolla.

Vastaus 2: Ei ole.

7. Onko toimintasäteen tai polttoaineen kulutuksen kanssa tullut yllätyksiä tai vaikeuksia?

Vastaus 1: Ei ole, olen ajanut kaasuautoilla lähinnä PKS-alueella

Vastaus 2: Polttoaineen kulutus kaasulla ajettaessa huomattavasti pienempää kuin diesel-versiossa. Kantama on jonkun verran lyhyempi kuin diesel-autoilla eli ehkä noin 300-400 km vähemmän.

8. Onko kaasukaluston ajettavuudessa tai ajotuntumassa eroa dieselkalustoon?

Vastaus 1: Kiihtyvyys on kaasuautoissa parempi kuin dieselautoissa keskimäärin kokemukseni mukaan. Ajotuntuma on hyvä, käytännössä ei poikkea dieselautosta liikenteessä. Vaihteisto on joissain (automaatti) autoissa todella nopea, auto lähtee välittömästi liikkeelle jarrun päästäessä, ei ole ideaalinen ahtaissa paikoissa ajettaessa, kuitenkin toimiva.

Vastaus 2: Väännön puute isoin ongelma ja ehkä jopa omasta mielestä isoin puute!

9. Onko kaluston valmistajien välillä huomattavia eroja? (Scania, Volvo)

Vastaus 1: Vaihteisto on erilainen. Scanian vaihteisto muistuttaa dieselautoa enemmän kuin Volvon ja sitä on helpompi hallita ryömittäessä. Liikenteessä molemmat ovat hyviä.

Vastaus 2: On, Scania-malli on huomattavasti parempi ajettava matka-ajossa, mutta myös kaupungissa. Volvo sopii parhaiten kaupunkiajoon.

10. Onko kaasuautoissa tullut esiin yksittäisiä tai toistuvia epäkohtia tai ongelmia?

Vastaus 1: Eräässä Volvon autossa moottori jarruttaa voimakkaasti kaasun päästäessä, vaikuttaa merkittävästi ajoon negatiivisella tavalla. Kaasuhenkilöautoissa (Volkswagen Caddy) kiihtyvyys on hyvä noin 80km/h saakka, tämän jälkeen todella hidasta, vaikeuttaa liittymistä.

Vastaus 2: Volvoissa ongelmana on moottorin jäähdytysnesteen ylikuumeneminen usein. Myös jotkin anturiviat, joita havaittu myös Scaniaissa.

11. Onko kaasuautojen kylmäkäytössä tullut esiin ongelmia, esimerkiksi kylmäkäynnistyksessä?

Vastaus 1: Ei ole.

Vastaus 2: On ollut, Volvoissa ongelmakohta on käynnistysvaiheessa ja noin ensimmäisen minuutin ajan moottorin tyhjäkäynnin epätasaisuus ja hyppiminen. Tämä aiheuttaa joskus hieman epävarmuutta käytettävyyteen varsinkin pakkaskeleillä. Scaniaissa tämä ongelma on korjattu paremmalla tuotekehityksellä

12. Koetko kaasulla ajamisen turvalliseksi ja riskittömäksi kaikissa tilanteissa?

Vastaus 1: Kaiken toimiessa normaalisti kuorma-autossa, kyllä. Henkilöautolla hidas kiihtyvyys on yllättänyt liittymässä.

Vastaus 2: Kyllä yleisesti ottaen, vaikka kaasusäiliöt aiheuttavat turvallisuusriskin kylkitörmäystilanteessa

13. Millaiset ennakkooajatukset kaasuautoilla ajamisesta oli ennen niiden käyttöönottoa? Oliko ennakkoluuloja ja millainen ensivaikutelma lopulta muodostui?

Vastaus 1: En pitänyt ideasta. Käytännössä varsin toimiva tankkausta lukuun ottamatta.

Vastaus 2: Positiiviset, odotin kaasuautoilla ajamista, sillä oletin ne hiljaisiksi ja rauhallisiksi ajo-ominaisuuksiltaan. Nämä kuvitelmat toteutuivat ainakin omalla kohdallani

14. Suositko ajotehtävissä mieluummin diesel- vai kaasuautoa? Miksi?

Vastaus 1: Ainoa ero on tankkauksen helppous. Keikan jälkeen menen mieluummin kotiin kuin lähden vielä tankkaamaan, ellei päivä ole liian lyhyt muutenkin. Tässä mielessä kaasuauto on hyvä.

Vastaus 2: Molemmat ovat hyviä, mutta dieselin vääntöominaisuudet ovat usein tärkeitä jos päästävä vaikka jyrkkä mäki varmasti ja tehokkaasti ylös. Kaasuauton ratissa kuitenkin viihdyn melkein yhtä hyvin.

15. Onko kaasukaluston käyttö muuttanut suhtautumistasi kaasukäyttöisiin kulkuneuvoihin? Voisitko esimerkiksi kuvitella hankkivasi kaasukäyttöisen henkilöauton itsellesi?

Vastaus 1: Voisin kuvitella, kunhan auto on riittävän tehokas.

Vastaus 2: Varauksin, isoin ongelmakohta on mainitsemani puute moottorin väännössä.

16. Loppuun voi kuvailla omin sanoin kokemuksiaan liittyen kaasukalustolla operointiin, esimerkiksi kehuja, haasteita, ongelmia tai kehitettävää.

Vastaus 1: Parempia kuin luulin, tankkausasemia pitäisi olla enemmän. Voisin hankkia itselleni kaasuauton tulevaisuudessa.

Vastaus 2: Scanian kaasukuorma-autossa on otettu huomioon monet ongelmakohdat ja korjattu/parannettu niitä, täten tuotteena on todella hyvä ja käyttökelpoinen kuorma-auto.